

AEN Infos

2005 – N° 23.1

Dans ce numéro :

Décision réglementaire dans le domaine nucléaire

Prospection et prix de l'uranium



Enseignements tirés de l'expérience récente acquise dans l'exploitation des centrales nucléaires

Gestion de l'incertitude dans les dossiers de sûreté et rôle du risque

Sûreté du cycle du combustible nucléaire



AEN Infos est publié deux fois par an, en anglais et en français, par l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire. Les opinions exprimées n'engagent que les auteurs des articles et ne reflètent pas nécessairement les points de vue de l'Organisation ou ceux des pays membres. Les informations contenues dans *AEN Infos* peuvent être librement utilisées, à condition d'en citer la source. La correspondance doit être adressée comme suit :

Secrétariat de rédaction
AEN Infos, OCDE/AEN
12, boulevard des Îles
92130 Issy-les-Moulineaux
France

Tél. : +33 (0)1 45 24 10 10
Fax : +33 (0)1 45 24 11 10

L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) est une organisation intergouvernementale qui a été fondée en 1958. Son principal objectif est d'aider ses pays membres à maintenir et à approfondir, par l'intermédiaire de la coopération internationale, les bases scientifiques, technologiques et juridiques indispensables à une utilisation sûre, respectueuse de l'environnement et économique de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques. Elle est une source d'information, de données et d'analyses non partisane et constitue l'un des meilleurs réseaux d'experts techniques internationaux. Elle comprend actuellement 28 pays membres : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, la Corée, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie.

Pour plus d'informations sur l'AEN, voir :

www.nea.fr

Comité de rédaction :
Gail Marcus
Karen Daifuku
Cynthia Gannon-Picot

Production/recherches photographiques :
Solange Quarneau
Annette Meunier

Mise en page/graphiques :
Annette Meunier
Andrée Pham Van

Page de couverture : Concentré d'uranium en cours de raffinement (P. Lesage, AREVA, France), concentré d'uranium raffiné (NEI, États-Unis), crayons de combustible dans le réacteur expérimental Eole (P. Stroppa, CEA, France), défaillance d'une tuyauterie à Mihama-3 (JNES, Japon), caractérisation de site avant construction d'un dépôt en formation géologique (Posiva Oy, Finlande).

Sommaire

Faits et opinions

- Décision réglementaire dans le domaine nucléaire 4
- Prospection et prix de l'uranium 8

Actualités

- Enseignements tirés de l'expérience récente acquise dans l'exploitation des centrales nucléaires 10
- Gestion de l'incertitude dans les dossiers de sûreté et rôle du risque 15
- Sûreté du cycle du combustible nucléaire 19

Nouvelles brèves

- Le Forum international Génération IV aborde une nouvelle phase 21
- L'énergie nucléaire pour le 21^{ème} siècle 23
- Coûts prévisionnels de production de l'électricité 26
- Troisième phase du projet TDB 28

Nouvelles publications

29





L'énergie nucléaire sous le regard des ministres



L'énergie nucléaire a occupé, durant ce printemps, une place de premier plan dans le calendrier des réunions internationales. Soixante quatorze pays et onze organisations internationales étaient représentés à la conférence internationale « L'énergie nucléaire au 21^{ème} siècle » qui a eu lieu à Paris en mars. En mai, l'énergie nucléaire a également été débattue lors de la réunion du Conseil de direction de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) au niveau des ministres, du Forum de l'OCDE « Sécurité, stabilité, développement : les moteurs de l'avenir » ainsi que de la réunion du Conseil de l'OCDE au niveau des ministres qui s'est tenue en parallèle avec le Forum de l'OCDE.

À la conférence « L'énergie nucléaire au 21^{ème} siècle », les opinions sur l'énergie nucléaire ont été globalement, mais non exclusivement, positives. Selon de nombreux délégués, l'énergie nucléaire pouvait, dans des conditions appropriées, faire partie des solutions permettant de faire face à l'augmentation de la demande d'énergie, d'assurer la sécurité de l'approvisionnement énergétique et de lutter contre le changement climatique. Les principaux thèmes abordés lors de cette conférence sont passés en revue dans les nouvelles brèves, page 23.

Les autres réunions étaient plus centrées sur les questions énergétiques dans leur ensemble que sur la seule énergie nucléaire. Les participants au Forum de l'OCDE partageaient le sentiment qu'il était urgent de prendre des mesures dans les secteurs énergétiques des pays développés et en développement. À la réunion ministérielle du Conseil de direction de l'AIE les ministres ont souligné que la sécurité énergétique reste au cœur de leur mission. Cette notion traduit à leurs yeux une plus large disponibilité d'énergie propre, fiable et à des prix raisonnables dans le monde. Lors de la réunion des 3 et 4 mai du Conseil de l'OCDE, les ministres ont fait valoir qu'il était primordial pour le développement économique et social de pouvoir compter sur des approvisionnements suffisants en énergie propre à des prix abordables. Ils ont, en outre, déclaré que les investissements dans les infrastructures et technologies énergétiques doivent être



axés sur des technologies viables et efficaces ayant des répercussions moins nocives sur le climat. Durant une réunion conjointe à laquelle ont assisté les délégués ayant pris part à la réunion du Conseil de l'OCDE au niveau des ministres (RCM) et à la réunion ministérielle du Conseil de direction de l'AIE, les participants ont réfléchi à la manière dont les pouvoirs publics pouvaient améliorer les conditions générales afin d'assurer l'investissement en temps voulu dans des infrastructures énergétiques qui permettent de garantir la sécurité d'approvisionnement, l'efficacité économique, le respect de l'environnement et des prix raisonnables.

Les messages de ces réunions à haut niveau semblent clairs et je suis convaincu que nous ne pouvons nous permettre de sous-estimer l'importance de relever les défis énergétiques auxquels nous sommes confrontés. Nos économies en dépendent, ainsi que notre santé et notre bien-être. Il faut parvenir à satisfaire des demandes énergétiques croissantes tout en prenant soin de préserver l'environnement. Pour ce faire, il sera indispensable d'adopter tout un éventail de solutions, en commençant par les économies d'énergie et sans négliger le recours à des énergies moins polluantes, une utilisation accrue des énergies renouvelables et la mise en place de mesures d'incitation et d'accords permettant d'assurer la protection de l'environnement.

Luis E. Echávarri
Directeur général de l'AEN

Décision réglementaire dans le domaine nucléaire

B. Kaufer, T. Murley *

Les autorités de sûreté nucléaire sont en permanence amenées à prendre dans leur domaine des décisions de nature très variée. Certaines d'entre elles relèvent de leur propre initiative, par exemple un règlement visant de nouvelles prescriptions en matière de notification, mais dans la plupart des cas les décisions sont prises en réaction à des demandes émanant de l'extérieur de l'institution. Un rapport récent du CANR¹ est parvenu à la conclusion que dans tout scénario de prise de décisions, qu'il soit simple ou complexe, la tâche de l'autorité de sûreté nucléaire sera facilitée par un cadre décisionnel structuré.

Après plus de quatre décennies d'exploitation commerciale, les programmes électronucléaires des pays de l'OCDE sont désormais bien rodés ; cela s'est traduit par de nombreuses avancées dans la sûreté, sous la forme de modifications dans la technologie, ainsi que de programmes et d'améliorations dans les performances opérationnelles des centrales nucléaires en général. Parallèlement à ces évolutions dans les performances des centrales elles-mêmes, la réglementation de la sûreté des centrales nucléaires a également atteint une maturité certaine, plus particulièrement en ce qui concerne l'utilisation de nouvelles méthodes d'analyse de la sûreté telles que l'évaluation

probabiliste de la sûreté (EPS) ; les réponses réglementaires aux nouvelles informations et données d'exploitation, surtout celles tirées des accidents survenus à Three Mile Island et à Tchernobyl ; l'étude des incidences du facteur humain et organisationnel sur la sûreté nucléaire ; et dans un intérêt accru apporté aux systèmes de gestion de la qualité.

On admet depuis quelques années que la nature de la relation entre l'autorité de sûreté et l'exploitant d'une centrale peut influencer, positivement ou négativement, la culture de sûreté de ce dernier.^{2,3} Cette relation entre l'autorité de sûreté et l'exploitant tient pour beaucoup à la nature du processus de décision adopté par

l'autorité de sûreté. C'est la raison pour laquelle le Comité de l'AEN sur les activités nucléaires réglementaires (CANR) a jugé que le moment était approprié pour revoir toute la problématique de la décision réglementaire. D'où le projet d'établir un rapport représentant un consensus international sur le processus de décision intégré. Un groupe d'experts composé de hauts responsables de la sûreté a été chargé de réaliser cet objectif.

Types de décisions réglementaires

Il est probable que, dans la plupart des cas, les décisions que doit prendre une autorité de sûreté portent sur des problèmes simples, mais cela ne signifie pas pour autant qu'elles sont dénuées d'importance ou que l'autorité de sûreté est dispensée de les peser avec soin. Cela veut plutôt dire qu'il existe des précédents significatifs concernant le problème en cause et que l'autorité de sûreté dispose de suffisamment de temps pour définir clairement les enjeux, analyser différentes solutions possibles et associer les parties prenantes pertinentes. Autrement dit, dans ce type de situation, l'autorité de sûreté a tout loisir de mettre en œuvre son processus de décision délibératif et structuré.

Il arrive que certaines questions que doit trancher l'autorité

* M. Barry Kaufer (barry.kaufer@oecd.org) travaille dans la Division de la sûreté nucléaire de l'AEN. M. Thomas E. Murley (temurley@erols.com) est ancien Directeur du Bureau de la réglementation nucléaire de la US Nuclear Regulatory Commission et actuellement consultant auprès de l'AEN.

de sûreté soient plus épineuses. Elles se caractérisent fréquemment par des circonstances inattendues, un manque d'informations complètes, des données incertaines ou contradictoires, un désaccord entre les experts en sûreté, une urgence réelle ou supposée à prendre une décision et une compréhension partielle des conséquences d'une décision, ou par une conjugaison de tous ces facteurs. Outre ces difficultés, l'autorité de sûreté est également consciente que les interventions qu'elle décidera pourraient avoir de lourdes conséquences, non seulement pour la sûreté du public, mais aussi pour la façon dont celui-ci perçoit l'organisme réglementaire et la confiance qu'il lui accorde.

Que la décision à prendre soit simple ou complexe, la tâche de l'autorité de sûreté sera facilitée par un cadre décisionnel structuré et une expérience pratique de ses procédures.

Principes fondamentaux de la décision réglementaire

Une des règles de base de la sûreté nucléaire est qu'il appartient à l'exploitant de faire fonctionner sa/ses centrale(s) nucléaire(s) dans des conditions de sûreté. Il incombe à l'autorité de sûreté nucléaire de superviser les activités de l'exploitant pour garantir qu'il en est bien ainsi. L'autorité de sûreté ne doit jamais rien entreprendre qui brouille cette répartition fondamentale des rôles entre l'exploitant et l'autorité de sûreté. Les décisions de l'autorité de sûreté doivent s'appuyer sur les lois nationales, et la réglementation et les normes qui donnent effet à ces lois. Mais plus encore, l'organe réglementaire doit promouvoir la sûreté en accomplissant sa tâche de façon exemplaire.

Sur le point de prendre une décision réglementaire, on peut se fixer plusieurs principes de

base tels que : évaluer l'importance du point de vue de la sûreté, rassembler suffisamment d'informations pour prendre une décision éclairée, chercher des avis auprès de parties prenantes extérieures, rester cohérent dans ses décisions, et surtout, se comporter en organisme compétent, professionnel et indépendant dont les décisions réglementaires sont motivées par le souci de préserver la sûreté, la sécurité et l'environnement.

En tranchant un problème épineux, l'autorité de sûreté devra se demander comment la décision sera jugée rétrospectivement si elle se révèle erronée ou si elle ne débouche pas sur le résultat escompté. Dans les situations difficiles, il est fréquent que l'autorité de sûreté soit soumise à de multiples pressions, aussi doit-elle se poser quelques questions avant d'arrêter une décision finale :

- La décision est-elle clairement justifiée du point de vue de la sûreté ?
- Y a-t-il un fondement juridique clair à la décision ?
- Les procédures normales ont-elles été suivies ?
- Les avis de toutes les parties prenantes ont-ils été pris en considération ?
- La recherche des informations nécessaires a-t-elle été effectuée avec toute la diligence requise ?
- La décision est-elle cohérente avec des situations antérieures ?
- L'autorité de sûreté s'est-elle assurée que la décision n'a pas été prise prématurément en négligeant certaines prescriptions réglementaires pour satisfaire les besoins opérationnels de l'exploitant de la centrale ?

Cette série de questions n'entend pas suggérer que l'autorité de sûreté doit se laisser paralyser par la crainte qu'une décision puisse mal tourner. Il s'agit

plutôt de rappeler que l'organisme réglementaire doit s'assurer qu'il a atteint sa décision en suivant ses procédures de façon structurée, a pris en compte toutes les contributions pertinentes, s'est appuyé sur des principes de sûreté solides et n'a pas semblé avoir été soumis à des pressions indues dans sa prise de décision.

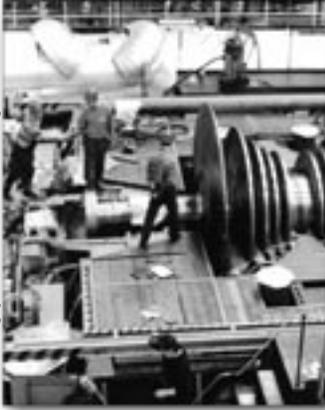
Critères applicables aux décisions réglementaires

Un bon processus décisionnel suppose nécessairement une réglementation à jour, complète et claire, mais celle-ci ne saurait couvrir dans tous leurs aspects les questions auxquelles une autorité de sûreté sera confrontée. Il y aura toujours des lacunes, des interprétations divergentes et des situations inattendues. C'est pourquoi l'organisme réglementaire suivra généralement des critères assez généraux qui structurent sa doctrine en matière de sûreté.

L'un de ces critères est le niveau de sûreté et de protection de l'environnement à exiger par l'autorité de sûreté. Les déclarations visant le niveau de base du critère de protection varient selon les pays de l'OCDE, mais tous s'accordent à reconnaître qu'il est impossible d'atteindre un risque zéro dans les activités nucléaires. On trouvera ci-dessous certains des critères concernant le niveau de base de protection dans les pays de l'OCDE :

- pas de risque déraisonnable,
- protection appropriée de la santé et de la sûreté du public,
- niveau de risque le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre,
- sûreté aussi élevée que cela est raisonnablement réalisable,
- risque limité par l'utilisation des meilleures technologies à des coûts économiquement acceptables.

Miklos Beregnyei, Centrale de PAKS, Hongrie



C. Cieutat, La Médiathèque EDF, France



EACL, Canada



Certains des critères concernant le niveau de base de protection dans les pays de l'OCDE comprennent la protection appropriée de la santé et de la sûreté du public, le niveau de risque le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, et une sûreté aussi élevée que cela est raisonnablement réalisable.

On est donc amené à s'interroger sur le critère à utiliser concernant le niveau d'assurance que les critères de sûreté requis sont bien respectés. Ici encore, on trouve différentes formulations de ce dernier critère dans les pays de l'OCDE, mais tous admettent qu'une assurance absolue est hors de portée. La plupart des pays se sont dotés d'une variante d'un critère « d'assurance raisonnable ».

Il convient de considérer ces critères comme des critères qualitatifs souhaitables plutôt que comme des prescriptions de sûreté quantitatives qui doivent être respectées. En pratique, ils correspondent à ce que d'aucuns pourraient appeler des « normes implicites ». C'est de l'accumulation de peut-être plusieurs centaines de décisions concrètes antérieures et de la jurisprudence portant sur plusieurs années qu'émergera une définition de travail du sens à donner à ces critères.

Au-delà de ces critères qualitatifs souhaitables, un organisme réglementaire peut adopter des objectifs de sûreté quantitatifs – par exemple, des objectifs chiffrés pour la protection de la santé et de la

sûreté des personnes vivant à proximité de centrales nucléaires. Pour accroître leur utilité dans la prise de décision, les objectifs sanitaires sont souvent complétés par des objectifs chiffrés concernant la fréquence des dommages au cœur (CDF) et la fréquence des relâchements radioactifs précoces massifs (LERF). À l'évidence, le recours à ce dernier type d'objectifs de sûreté suppose la mise en place et l'actualisation d'EPS rigoureuses et individualisées, ainsi qu'une maîtrise de la méthodologie de l'EPS par l'exploitant et l'autorité de sûreté. Bien qu'au sein des organes réglementaires des pays de l'OCDE la fixation et l'utilisation d'objectifs de sûreté quantitatifs soient de pratique courante, on considère généralement que ces critères ne permettent pas à eux seuls de prendre des décisions réglementaires. En fait, la principale utilité des objectifs de sûreté quantitatifs est de fournir à l'autorité de sûreté des lignes directrices venant compléter d'autres critères réglementaires.

Les autorités de sûreté font, par principe, preuve d'une extrême prudence dans leurs décisions. La philosophie traditionnelle de la défense en

profondeur en matière de sûreté en est l'illustration. Depuis les tous débuts de l'électronucléaire commercial, les autorités de sûreté ont opté pour la défense en profondeur qui requiert plusieurs barrières de protection pour éviter les accidents ou en atténuer les conséquences. L'application des principes de la défense en profondeur et des marges de sûreté a été, et demeure, un moyen efficace de prendre en compte les incertitudes dans les performances de l'équipement et le facteur humain. Grâce à l'accumulation de l'expérience d'exploitation et au perfectionnement des méthodes d'analyse de la sûreté, qui nous permettent d'approfondir notre compréhension de la sûreté des centrales nucléaires, des marges de sûreté et de leurs incertitudes, on peut songer à réduire les marges exagérément prudentes, ou à en ajouter, s'il y a lieu.

Éléments du processus de décision réglementaire

Les principes et critères fondamentaux applicables aux décisions réglementaires doivent s'inscrire dans un cadre pratique intégré, utilisable par

les autorités de sûreté dans leurs activités quotidiennes. Ce cadre ne doit pas être rigide, mais être cohérent avec les lois et les coutumes nationales, les traités et les réglementations internationaux, et les politiques internes de l'autorité de sûreté. Fondamentalement, un cadre intégré doit permettre a) de définir clairement la question posée, b) d'évaluer l'importance du point de vue de la sûreté, c) de déterminer les lois, réglementations ou critères à appliquer, d) de collecter les informations et données pertinentes, e) de définir les compétences et les ressources nécessaires, f) de s'entendre sur les analyses à réaliser, g) de fixer le degré de priorité de la question par rapport aux autres tâches de l'organisme, h) de prendre une décision solidement étayée et, finalement, i) de rédiger une décision claire et motivée, puis de publier la décision le moment venu.

Les étapes ci-dessus ne doivent pas nécessairement se succéder dans le temps ; en fait, plusieurs d'entre elles peuvent être franchies simultanément et certaines peuvent même être écartées dans certaines situations. En principe, il faudrait que la rigueur et l'intensité des efforts déployés dans ces différentes étapes soient proportionnelles à l'importance de la question en jeu du point de vue de la sûreté et de la réglementation.

La décision et sa publication ne dégagent pas l'autorité de sûreté de toute responsabilité. À l'évidence, elle doit prévoir des mesures de suivi pour veiller à l'exécution de sa décision. De même, la décision et sa justification doivent être conservées dans le système de contrôle des documents établi par l'organisme réglementaire. Cela permettra la mise en œuvre d'actions de suivi efficaces et facilitera l'extraction des informations dans la perspective de futures décisions à prendre.

Mise en œuvre des éléments du processus de décision

L'organisme réglementaire peut utiliser les éléments ci-dessus pour créer un cadre décisionnel réglementaire et l'intégrer dans son système de gestion global, au même titre que ses processus de planification et de budgétisation, en tenant compte des lois et des coutumes nationales, ainsi que des politiques internes de l'autorité de sûreté. Ce faisant, le processus décisionnel se fondera au fil du temps dans la culture institutionnelle de l'organisme réglementaire.

Le cadre décisionnel intégré embrassera la grande majorité des décisions auxquelles est confronté un organisme réglementaire. Cependant, chaque autorité de sûreté aura à faire face à des situations uniques à certains égards, ou n'entrant pas parfaitement dans le cadre décrit ci-dessus. Le rapport du CANR intitulé *La prise de décision en matière de réglementation nucléaire* prodigue des conseils sur la meilleure façon d'envisager un certain nombre de ces types de situation, notamment : prise de décision en cas d'incertitudes, gestion de questions relatives à la culture de sûreté, confrontation à des opinions divergentes, prise en compte d'informations émanant d'organismes consultatifs de sûreté et utilisation des informations sur les risques dans les décisions réglementaires.

Communication des décisions réglementaires

Dans tout débat sur les principes et les critères fondamentaux qu'il incombe à un organisme réglementaire de prendre en considération au moment d'arrêter une décision susceptible d'affecter un large éventail de parties prenantes, il faut garder à l'esprit le jugement que ces parties prenantes pourraient

porter sur la décision et sa justification. À cet égard, il est important que l'organisme réglementaire se préoccupe de la façon dont ses décisions sont communiquées aux parties prenantes.

Pour nombre des questions difficiles auxquelles se trouve confrontée l'autorité de sûreté, l'acteur extérieur le plus directement affecté est l'exploitant de la centrale. Dans certains cas, complexes ou litigieux, l'autorité de sûreté peut souhaiter expliquer sa décision écrite dans le cadre d'une réunion avec l'exploitant, éventuellement une réunion ouverte au public.

Conclusion

Il n'existe pas de guide ou de manuel indiquant à une autorité de sûreté comment prendre la bonne décision, en particulier dans les cas épineux où la question peut être litigieuse et les circonstances inédites. D'où l'intérêt de disposer d'un cadre décisionnel sur lequel s'appuyer. Cela étant, l'autorité de sûreté devra compter sur son expérience et son jugement, en gardant à l'esprit que la décision réglementaire et la façon dont elle est prise, peuvent mettre en jeu la sûreté, et, dans une certaine mesure au moins, la crédibilité de l'organisme réglementaire. ■

Notes

1. Le rapport du CANR intitulé *La prise de décision en matière de réglementation nucléaire* a été publié au printemps 2005 et est disponible sur le site web de l'AEN www.nca.fr et sur demande auprès du Secrétariat de l'AEN. Son contenu forme la base du présent article.
2. AEN (1999), *Le rôle de l'autorité de sûreté dans la promotion et l'évaluation de la culture de sûreté*, OCDE/AEN, Paris.
3. AEN (2000), *Stratégies d'intervention de l'autorité de sûreté en cas de dégradation de la culture de sûreté*, OCDE/AEN, Paris.

Prospection et prix de l'uranium

R. Price *

Depuis le milieu des années 80, la production primaire d'uranium est inférieure aux quantités nécessaires pour faire fonctionner les réacteurs, et l'on a donc dû faire appel aux sources secondaires pour combler la différence. En 2002, la production mondiale d'uranium n'a assuré que 54 % des besoins des réacteurs. Cette dépendance vis-à-vis des sources secondaires devrait se prolonger dans l'avenir proche. À plus long terme, par contre, il faudra augmenter la production primaire.

L'abondance des sources secondaires s'est soldée notamment par une baisse du prix de l'uranium sur le marché qui dure depuis plusieurs décennies. À leur tour, ces faibles prix ont sonné le ralentissement des programmes de prospection et conduit de nombreux producteurs d'uranium à se regrouper, à cesser leurs activités ou à fermer leurs centres de production. C'est pourquoi, sur toute cette période, les activités de prospection étaient très limitées et essentiellement orientées vers le développement.

Pourtant après 2020, lorsque les sources secondaires se raréfieront selon toute probabilité, la production primaire devra progressivement prendre le relais pour satisfaire les besoins des réacteurs. Il faudra alors développer fortement cette capacité de production et donc, dans une première étape, lancer des travaux de prospection pour élargir la base de ressources indispensables. Or, le faible prix de l'uranium est l'un des obstacles au lancement de nouvelles activités de prospection.

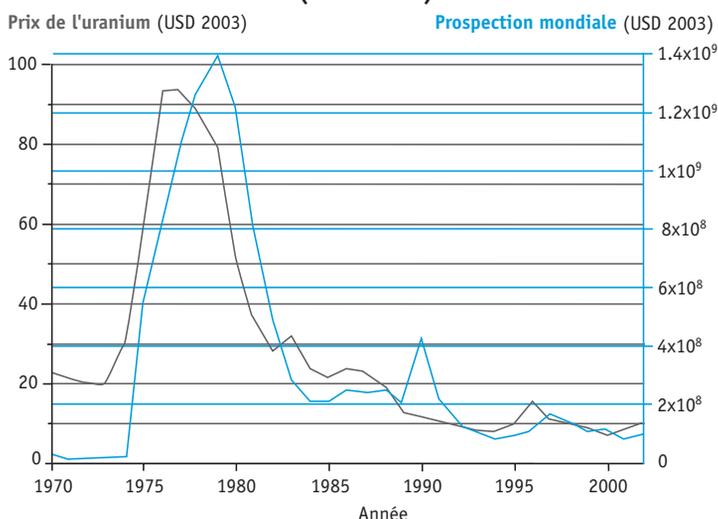
Pourtant, depuis quelques années, on assiste à une remontée significative du prix de l'uranium sur le marché. Depuis le début de 2001, par exemple, alors qu'il avait sombré à son niveau du début des années 70, le prix de l'uranium est reparti à

la hausse ; il avait presque doublé en juillet 2004.¹

Malgré l'importance relative de cette progression, la hausse du prix reste assez modeste à ce stade, comparée aux sommets historiques atteints dans les années 70 sans parler de l'envolée, de courte durée, qui a marqué le milieu des années 90, et cela d'autant plus si l'on considère les prix en termes constants (voir Figure 1).

Cette hausse des prix sur le marché provoquera-t-elle l'intensification de la prospection nécessaire pour développer la capacité de production ? Pour répondre à cette question, il a été procédé à une analyse des

Figure 1. Prospection mondiale et prix de l'uranium en USD de 2003 (1970-2002)



* M. Robert Rush Price (robert-rush.price@oecd.org) travaille dans la Division du développement nucléaire de l'AEN.

statistiques recueillies au cours des 40 dernières années afin de déterminer si la prospection réagirait à cette reprise des prix et à quelle échéance.

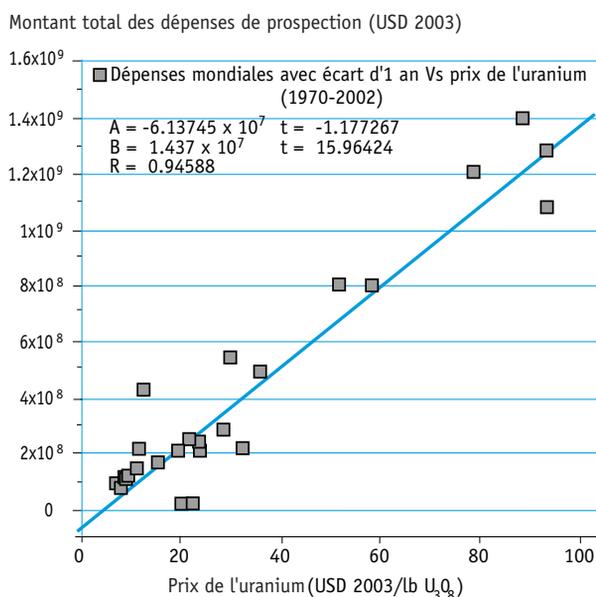
Les statistiques sur la prospection de l'uranium ont été tirées de la série des publications de l'OCDE/AEN intitulées *Uranium : ressources, production et demande* (publication connue sous le nom de Livre rouge). Elles correspondent aux dépenses totales consacrées à la prospection dans un pays donné, que l'origine des dépenses ait été nationale ou étrangère. Les statistiques sur le prix de l'uranium proviennent de NUEXCO/TradeTech et correspondent à la moyenne annuelle des prix spot sur le marché libre à la fin du mois, hors primes.²

La Figure 1 révèle une éventuelle corrélation entre le prix et les activités de prospection de l'uranium et laisse entrevoir un délai entre l'évolution du prix de l'uranium et une variation des dépenses de prospection. S'agissant des dépenses mondiales, la meilleure corrélation correspond à un délai d'un an (voir Figure 2).

Le fait que la corrélation soit meilleure lorsque l'on introduit un délai correspond logiquement au temps nécessaire pour que la variation du prix de l'uranium soit ressentie par les organes de décision dans les entreprises de prospection, ainsi qu'au temps nécessaire au lancement d'études sur le terrain, une fois la décision prise. Ces résultats suggèrent que la prospection constitue un secteur concurrentiel et ouvert de l'industrie de l'uranium, qui est sensible au prix de cette matière première et très réactif aux signaux du marché.

Les résultats de l'analyse montrent qu'une hausse de prix, même relativement faible, entraîne une augmentation des dépenses de prospection. Nous ne disposons pas encore des statistiques concernant les dépenses de prospection en 2004 qui permettraient de véri-

Figure 2. Dépenses mondiales de prospection en fonction des prix de l'uranium (USD 2003, 1970-2002)



fier si la prospection suit, comme prévu, les hausses de prix, mais la presse contient des indications indirectes, empiriques, d'une reprise des activités de prospection en Australie, au Canada et aux États-Unis, ce qui laisse augurer une tendance à la hausse dans les prochaines statistiques.

On a également procédé à une analyse des statistiques concernant les sondages de surface, une mesure plus directe de l'intensité des activités de prospection, pour déterminer si l'on obtiendrait ainsi un meilleur outil de prévision. On possède suffisamment de statistiques sur les sondages de surface pour l'Australie, le Canada et les États-Unis pendant la période 1975-2002. Toutefois, le graphique ainsi obtenu confirme les résultats de la Figure 2 sans apporter d'amélioration par rapport à cette dernière.

Sachant que la production primaire devra satisfaire une proportion croissante des besoins des réacteurs dans les années qui viennent, il faudra découvrir suffisamment de nouveaux gisements pour pouvoir développer les capacités de production à mesure que s'épuiseront les sources

secondaires. En d'autres termes, la prospection devra s'intensifier si l'on veut disposer de la base de ressources nécessaire au développement de la capacité de production. L'analyse des statistiques montre que les hausses des prix de l'uranium ont, par le passé, entraîné une intensification des activités de prospection. On est donc en droit de penser que les récentes hausses des prix amorceront la relance de la prospection indispensable pour développer la capacité de production de l'uranium. ■

Notes

1. TradeTech, LLC (tiré de www.uranium.info/index.html).
2. Dans les dépenses totales de prospection on inclut les dépenses de prospection et de développement. La prospection recouvre toutes les formes d'investigations : sondages de surface ou souterrains, les diagraphies, l'exploitation pilote, et la recherche de nouveaux gisements ou l'extension de gisements connus. Avant 1989, ces données mondiales ne concernaient pas les pays de l'ex-Union soviétique ni certains pays non occidentaux, par exemple la Chine et la Mongolie, ce qui signifie qu'elles ne représentaient qu'un échantillon de l'activité mondiale et non l'intégralité de la population des pays producteurs. Le taux d'inflation utilisé pour convertir les dollars de 2003 était l'indice des prix à la production. Les valeurs historiques de cet indice ont été tirées du site <http://www.jsc.nasa.gov/bu2/inflation/ppi/inflatePPI.html>.

Enseignements tirés de l'expérience récente acquise dans l'exploitation des centrales nucléaires

P. Pyy *

Pour pouvoir gérer efficacement la sûreté de leurs installations, les pays ont besoin de recevoir en temps utile des informations en retour sur l'expérience acquise à l'échelon international dans l'exploitation des centrales nucléaires. Les notes techniques annuelles tirant les enseignements de l'expérience récemment acquise dans l'exploitation des centrales nucléaires établies par le Groupe de travail de l'AEN sur le retour d'expérience (WGOE) sont l'un des moyens d'obtenir ce type d'informations. Cet article s'inspire de la note technique concernant les événements enregistrés en 2003-2004¹ (la troisième dans la collection²).

Les notes techniques du WGOE traitent des problèmes signalés dans le cadre du Système de notification des incidents (IRS), système commun de l'AEN et de l'AIEA et, parfois, de projets de sûreté conjoints ayant trait à la collecte et

WGOE

Le Groupe de travail de l'AEN sur le retour d'expérience (WGOE) a pour importante mission de mettre en valeur et de communiquer aux pays membres de l'AEN les enseignements tirés de l'expérience acquise en cours d'exploitation des centrales nucléaires à travers le monde. Il accomplit cette tâche sous la responsabilité du Comité de l'AEN sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN) et du Comité de l'AEN sur les activités nucléaires réglementaires (CANR). Outre les notes techniques, le WGOE publie des rapports techniques sur des thèmes particuliers en liaison avec l'analyse de l'expérience acquise en cours d'exploitation, y compris, le cas échéant, des considérations sur les risques. Le Groupe cherche également à perfectionner les pratiques de collecte et d'analyse de données sur l'expérience acquise en cours d'exploitation dans les pays membres.

à l'analyse de données sur l'expérience d'exploitation. Les questions de sûreté abordées dans les notes techniques sont de nature générique et, par conséquent, revêtent un intérêt pour les décideurs. Cependant, il est aussi recommandé aux organismes réglementaires, aux organisations de soutien tech-

nique et aux exploitants nucléaires de les placer dans leur contexte national pour vérifier si elles sont pertinentes pour la sûreté des centrales nucléaires dans leur pays.

Questions de sûreté récentes mises en évidence par l'IRS

Au nombre des événements récents revêtant une importance du point de vue de la sûreté notifiés à l'IRS,

* M. Pekka Pyy (e-mail: pekka.pyy@oecd.org) travaille dans la Division de la sûreté nucléaire de l'AEN.

IRS

Le Système de notification des incidents (IRS) est le seul système de notification international à la disposition des autorités de sûreté et des organisations gouvernementales qui fournit une évaluation des événements pertinents pour la sûreté survenant dans les centrales nucléaires, de même que des informations détaillées sur les analyses des causes premières et les enseignements tirés du point de vue de la sûreté. L'IRS est géré par un secrétariat commun de l'AEN et de l'AIEA. Des lignes directrices concernant la notification à l'IRS sont en place depuis juin 1998. Le système, fondé sur une diffusion trimestrielle de CDs, est désormais en usage dans 31 pays. Une utilisation expérimentale de la version web de l'IRS est prévue en 2005. Des rapports périodiques intitulés *Nuclear Power Plant Operating Experience* (« *Blue Book* ») ont été publiés pour les périodes 1996-1999 et 1999-2002. La prochaine édition du *Blue Book*, pour la période 2002-2005, est programmée pour le printemps 2006, en liaison avec la Conférence internationale sur les utilisations futures de l'expérience acquise en cours d'exploitation qui devrait se tenir en Allemagne.

figurent l'érosion-corrosion de la tuyauterie, les perturbations électriques et l'introduction de corps étrangers dans le circuit de refroidissement primaire. Les trois exemples tirés de ces domaines illustrent la nécessité permanente pour les compagnies d'électricité et les autorités de sûreté d'instituer rapidement et de façon appropriée un programme d'actions correctives pour éviter les récurrences.

Perturbations électriques

Plusieurs incidents électriques, tant à l'intérieur de la centrale que dans le réseau extérieur, ont été notifiés récemment dans le cadre de l'expérience internationale acquise en cours d'exploitation. La note technique précédente [NEA/CSNI/R(2004)4] faisait état de la panne généralisée intervenue en août 2003 aux États-Unis, qui s'est propagée dans certaines parties du Canada, et des informations complémentaires ont été récemment présentées à ce sujet. Ainsi, la centrale de

Pickering, qui comprend huit tranches, a subi une perte totale de secteur et pendant plusieurs heures le refroidissement de la centrale a été assuré par la circulation naturelle. L'événement a révélé des faiblesses dans plusieurs systèmes de sûreté, notamment l'eau de secours, l'eau du réseau d'extinction d'incendie, les groupes diesel de secours, et dans les critères d'autorisation visant ces systèmes ainsi que d'autres. Des actions correctives, y compris des modifications dans la conception et l'exploitation des centrales, sont en cours de mise en œuvre.

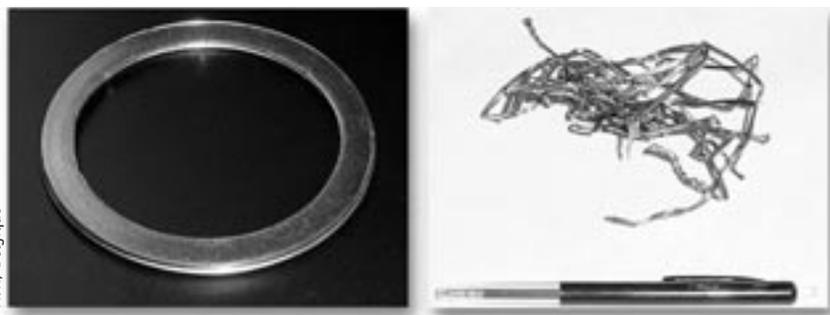
Par ailleurs, en juin 2004, il s'est produit à la centrale de Palo Verde aux États-Unis une panne de secteur qui a entraîné une perte totale de capacité de production de 5 500 MWe sur le réseau, dont plus de 3 700 MWe imputables aux trois tranches de Palo Verde. On a pu en attribuer la cause à une défaillance unique d'un montage de circuit de protection dans une sous-station hors

site. Dans l'ensemble, la centrale avait réagi conformément au plan, bien qu'un groupe diesel de secours ait refusé de démarrer. On a constaté que les exploitants de l'entreprise de transport de l'électricité n'avaient pas analysé de situations faisant intervenir la perte simultanée des trois tranches. L'événement a été jugé significatif du point de vue de la sûreté et les actions correctives ont notamment comporté des améliorations dans les composants du réseau extérieur.

L'analyse de ces événements de perte de secteur conduit à penser : 1) que les compagnies exploitantes n'ont peut-être pas analysé correctement les perturbations affectant le réseau ; 2) qu'une révision des procédures d'exploitation, des plans de communication, de l'équipement et des critères d'autorisation est nécessaire pour faire face à une perte de secteur généralisée et de longue durée, et 3) que les réseaux interconnectés présentent peut-être des fragilités en cas d'importantes chutes simultanées des capacités de production.

Introduction de corps étrangers dans le circuit primaire

Deux événements significatifs mettant en jeu l'introduction de corps étrangers se sont produits récemment. À la centrale de Tihange en Belgique, la présence d'un joint métallique spiralé très endommagé a été décelée dans un clapet anti-retour d'un système d'injection de sûreté, et une rupture de gaine a été observée quelques mois plus tard. Les dispositifs de filtrage anti-débris dont sont équipés les assemblages combustibles ont laissé passer certains morceaux du joint et la détérioration mécanique du gainage du combustible a probablement été provoquée par des morceaux du joint qui sont passés à travers les filtres.



Un joint métallique neuf et le joint très endommagé décelé dans un clapet anti-retour d'un système d'injection de sûreté à la centrale de Tihange en Belgique.

Un autre incident comportant l'introduction d'un corps étranger a été enregistré à l'installation de Fessenheim en France. Une intervention humaine concernant un réglage de vannes dans le circuit de contrôle chimique et volumétrique (CVCS), conjuguée à une modification de la conception, a entraîné l'introduction de résines déminéralisées dans le système de refroidissement primaire. Cela a provoqué une contamination et une exposition de travailleurs, un colmatage du système d'échantillonnage et une mise à l'arrêt de six mois de l'installation pour nettoyage et réparation. Du point de vue de la sûreté nucléaire, les conséquences ont été le blocage d'un certain nombre de barres de commande, l'interruption de l'injection aux joints des pompes primaires du réacteur, et une augmentation du risque de panne des pompes d'injection à haute pression par défaillance de paliers.

Bien que la présence de corps étrangers soit un problème récurrent, ces deux incidents ont été particulièrement significatifs. Le premier a conduit à une rupture de gaine et le second à des détériorations des systèmes de sûreté et à une mise à l'arrêt prolongée.

Érosion/corrosion de la tuyauterie

S'agissant de la tuyauterie, il s'est produit à la centrale de

Mihama au Japon un événement significatif qui a mis en jeu une défaillance d'une tuyauterie d'eau sous pression dans la salle des machines. Plusieurs membres du personnel de la centrale ont été gravement blessés et cinq ont perdu la vie dans l'incident. On retiendra en particulier les observations suivantes :

- Selon le guide de la centrale, la partie de la tuyauterie affectée par la brèche aurait dû être inspectée. Cependant, elle ne l'avait pas été depuis la mise en service de la centrale en 1976.
- L'organisation exploitant la centrale appliquait de son propre chef une règle d'évaluation de la vie résiduelle.
- Le système de gestion de la qualité mis en place par l'organisation exploitante n'était pas suffisant pour vérifier les travaux sous-traités.
- L'inspection des tuyauteries secondaires figurait dans le champ des inspections librement consenties par la compagnie d'électricité.

Un certain nombre d'événements précurseurs ont eu lieu dans des centrales analogues, par exemple au Japon et aux États-Unis (notamment à Surry en 1986), et l'on peut trouver un grand nombre d'antécédents dans la base de données IRS. Pour remédier au problème, des améliorations dans les pratiques d'inspection,

tant de l'exploitant que de l'autorité de sûreté, sont envisagées et/ou déjà mises en œuvre. Par exemple, depuis le 1^{er} octobre 2003, cette inspection précédemment librement consentie est désormais légalement obligatoire, et l'Agence réglementaire japonaise NISA (*Nuclear and Industrial Safety Agency*) analyse les inspections de l'épaisseur des parois secondaires réalisées par les exploitants. En outre, la Société japonaise des ingénieurs en mécanique prépare une norme de gestion pour l'épaisseur des tuyauteries, et la NISA a publié récemment des lignes directrices concernant l'inspection et la gestion de l'aminçissement des tuyauteries et des parois.

Problèmes de sécurité récents mis en relief par d'autres activités du WGOE

D'autres activités réalisées par le WGOE ont mis en relief des problèmes de sûreté supplémentaires, notamment des événements récurrents, des événements mettant en jeu l'utilisation et la performance de la sous-traitance, et les origines des défaillances de cause commune.

Événements récurrents

Le WGOE poursuit son étude des événements récurrents (il a déjà publié deux rapports sur ce thème). Le dernier en date traite des actions correctives visant à remédier à

une perte de refroidissement d'un REP à l'arrêt dans des conditions d'inventaire réduit. Plus de 50 événements de cette nature se sont produits au cours des 25 dernières années. Plusieurs types d'approches réglementaires ont été utilisés pour corriger la situation, depuis les circulaires d'information, avis et suggestions jusqu'aux décisions officielles et contraignantes par les autorités réglementaires. En 1988, l'US NRC a publié une lettre générique comportant des suggestions non contraignantes sur les moyens de réduire le nombre des occurrences. Cette lettre a eu des effets notables, mais des événements ont continué à se produire, y compris en 2004. En revanche, la France et la Corée, par exemple, ont édicté des règles contraignantes qui semblent avoir mis un terme à la récurrence dans ces pays. En France, une fonction d'appoint automatique a été mise en place ; un calendrier détaillé des travaux et des conditions à respecter ont été fixés avant le passage à la plage de travail basse et un dispositif de détection de vortex a été installé. En Corée, les autorités ont requis un renforcement de la formation du personnel, des instruments de mesure plus précis, une révision des procédures relatives aux pompes d'évacuation de la chaleur résiduelle, un recalcul des niveaux critiques et un réexamen des spécifications techniques.

Le WGOE s'interroge actuellement sur l'opportunité de lancer une étude analogue au sujet des risques significatifs de perte de source froide, ou de perte d'eau brute destinée à alimenter l'équipement lié à la sûreté.

Événements mettant en jeu la sous-traitance

Le thème choisi pour le débat de fonds du WGOE à sa réunion annuelle de 2004

était l'influence des travaux des entreprises de maîtrise d'œuvre (et des sous-traitants) sur l'évolution des événements. Le recours à des entreprises de maîtrise d'œuvre et à des sous-traitants est en augmentation constante dans l'industrie nucléaire, bien que l'externalisation ne soit pas une nouveauté. On a observé une montée des préoccupations concernant le recours à la sous-traitance en raison du risque qu'aussi bien les organismes titulaires des autorisations que les entreprises de maîtrise d'œuvre perdent une partie de leurs compétences du fait de l'externalisation. Les compagnies d'électricité et les organismes réglementaires de taille modeste traitant avec des entreprises de maîtrise d'œuvre puissantes et parfois multinationales semblent les plus exposées à ce danger.

Les pays membres ont soumis plusieurs exemples d'événements mettant en jeu des travaux sous-traités, notamment une courte interruption de l'évacuation de la chaleur résiduelle imputable à des travaux de maintenance pendant une mise à l'arrêt, le démarrage d'une centrale avant que certains travaux sous-traités programmés aient pu être achevés, et des défauts de fabrication dans les échangeurs de chaleur du circuit de refroidissement intermédiaire.

Des idées ont été avancées sur les moyens d'éviter des problèmes avec les travaux sous-traités et d'améliorer la situation. Il a été convenu que les titulaires d'autorisations devaient pouvoir superviser les sous-traitants en toutes circonstances. Cependant, certains événements font apparaître une difficulté croissante à déceler des performances insuffisantes. En outre, les titulaires d'autorisations sont censées homologuer les entreprises de maîtrise d'œuvre, mais l'expérience récente

montre que les procédures pour le faire peuvent ne pas être à la hauteur, voire faire totalement défaut. En outre, les titulaires d'autorisations doivent aussi se préoccuper de questions telles que la délivrance d'une formation qui corresponde aux contraintes propres au secteur nucléaire.

Faute d'une gestion appropriée, la maîtrise d'œuvre et la sous-traitance peuvent conduire à une perte de vision à long terme de la sûreté. Le maintien des compétences clés en interne est impératif pour demeurer un consommateur avisé. Cela suppose d'être capable, quel que soit le domaine, d'homologuer l'entreprise de maîtrise d'œuvre, de superviser la formation du personnel sous-traité, de contrôler et de réceptionner les travaux sous-traités, et surtout, de ne pas relâcher la vigilance à l'égard des questions de la sûreté.

Défaillances de cause commune touchant les batteries

Le Projet international d'échange de données de défaillance de cause commune (ICDE) est opérationnel depuis plus de dix ans. Le rapport le plus récent du projet remonte à la fin 2003 et concerne les batteries.³

Des défauts de conception étaient en cause dans environ la moitié des événements. Parmi eux, plus de 90 % se sont produits pendant la fabrication des batteries, à savoir mauvais choix des matériaux constitutifs des plaques, dans l'électrolyte, les séparateurs, les cellules ou les connexions, et moins de 10 % pendant le processus de spécification ou de modification de la centrale, par exemple, erreurs de calcul dans la définition de la puissance. Des carences dans l'entretien et les essais ont été en jeu dans

ICDE

Le Système international d'échange de données de défaillance de cause commune (ICDE) a été lancé en août 1994. Les pays qui participent à la troisième phase de l'accord de l'ICDE sont les suivants : Allemagne (GRS), Canada (CCSN), Espagne (CSN), États-Unis (NRC), Finlande (STUK), France (IRSN), Japon (NUPEC/JNES), République de Corée (KAERI), Suède (SKI), Suisse (HSK) et Royaume-Uni (NII). L'objectif du projet ICDE est de tirer des enseignements de nature qualitative et quantitative des données internationales sur l'expérience acquise en cours d'exploitation afin d'éviter les défaillances de cause commune ou d'atténuer leurs conséquences. Les données ICDE comprennent à la fois les événements notifiés aux organismes réglementaires et ceux fondés sur une analyse complémentaire de base de données relatives aux centrales nucléaires couvertes par un droit de propriété. Les principales conclusions du projet sont rendues publiques.

moins de 50 % des événements. Environ la moitié de ces derniers ont été provoqués par des défaillances physiques dans les éléments constitutifs des batteries, près de 30 % par des défaillances électriques, quelque 20 % par des interventions humaines directes, et dans un cas la cause était un vieillissement prématuré imputable à un manque d'entretien. Les données laissent à penser que la majorité des événements liés à des opérations d'entretien et d'essai pourraient être évités par des pratiques appropriées et une surveillance de la continuité des circuits.

Dans l'ensemble, il ressort du projet que pour éviter les défaillances de cause commune dans les centrales nucléaires, il faudrait : 1) améliorer l'analyse des carences dans les procédures d'exploitation, de maintenance et d'essai en vigueur susceptibles de provoquer une défaillance de cause commune de systèmes redondants ; 2) renforcer le contrôle global des travaux ; 3) faire une description systématique des phases d'essai requises dans la requalification des composants ou des systèmes après l'exécution de travaux de maintenance, de

réparation ou de mise en conformité ; et 4) intensifier la formation, soigner davantage l'ergonomie et multiplier les verrouillages de sécurité. Ces conclusions s'appliquent à tous les types de composants qui ont été analysés dans le projet ICDE.

Conclusions

La plupart des événements significatifs notifiés récemment dans les réunions internationales se sont déjà produits auparavant sous une forme ou sous une autre. De même, la plupart des thèmes soulevés dans les notes techniques de 2001-2002 et de 2002-2003 demeurent d'actualité. Les contre-mesures sont souvent bien connues, mais les informations ne semblent pas toujours parvenir à l'utilisateur final et/ou les programmes d'actions correctives ne sont pas toujours rigoureusement appliqués. Des efforts supplémentaires doivent être déployés à l'échelon international pour échanger l'expérience acquise sur les questions de sûreté et leurs solutions, et pour faire en sorte que les informations parviennent à l'utilisateur final dans les centrales nucléaires.

Les principales conclusions, à savoir que l'exploitation et la

maintenance sont les causes les plus fréquentes des défaillances de cause commune, et un certain nombre d'événements récents ayant trait au rôle croissant des entreprises de maîtrise d'œuvre et des sous-traitants, montrent que les compagnies d'électricité et les autorités de sûreté doivent probablement renforcer la surveillance des modes d'organisation, de la compétence et de la culture de sûreté des titulaires d'autorisations pour garantir la sûreté de l'exploitation et de la maintenance des centrales nucléaires.

Enfin, une bonne gestion de la sûreté passe par un programme de notification et d'analyse des données de l'expérience d'exploitation, comme le stipule la Convention sur la sûreté nucléaire. Par ailleurs, de nombreux domaines critiques requièrent un examen de l'expérience acquise en cours d'exploitation à des niveaux inférieurs à celui de la centrale et du rapprochement de cet examen avec d'autres analyses – par exemple les EPS, l'analyse de l'organisation et des tâches, l'analyse des matériaux et les calculs thermohydrauliques – pour trouver des solutions permanentes. Une telle approche pluridisciplinaire est un défi lancé aux responsables de la sûreté nucléaire sur la voie d'une gestion de la sûreté renouvelée. ■

Notes

1. « *Lessons Drawn From Recent Nuclear Power Plant Operating Experience* », NEA/CSNI/R(2005)4.
2. Les deux premières notes techniques du WGOE portent les cotes NEA/CSNI/R(2002)24 et NEA/CSNI/R(2004)4.
3. « *ICDE Project Report: Collection and Analysis of Common-cause Failures of Batteries* », NEA/CSNI/R(2003)19.

Gestion de l'incertitude dans les dossiers de sûreté et rôle du risque

B. Dverstorp, A. Van Luik, H. Umeki, S. Voinis, R. Wilmot *

Les dépôts en formations géologiques ont pour objectif de protéger l'homme et l'environnement des dangers que présentent les déchets radioactifs à vie longue sur des échelles de temps pouvant atteindre plusieurs milliers, voire un million d'années. La gestion des déchets radioactifs suppose donc que l'on procède à une analyse unique en son genre de l'évolution des déchets et des barrières ouvragées ainsi que des interactions entre ces composants et des barrières géologiques sur des périodes très longues. Cependant, sur des échelles de temps suffisamment prolongées, même les matériaux artificiels et les environnements géologiques les plus stables sont soumis à des événements et des changements perturbateurs sujets à des incertitudes. Les incertitudes associées à l'évolution du système de stockage doivent être correctement prises en compte et gérées sur toute la durée du programme de développement d'un dépôt.

À chacune des étapes du développement d'un programme, la décision doit pouvoir être prise avec un niveau de confiance approprié quant aux possibilités de garantir la

sûreté à long terme, compte tenu de la compréhension que l'on a acquise du système à travers l'analyse des incertitudes. Un dossier de sûreté¹ est un support déterminant de la décision pour passer à l'étape suivante du développement du dépôt. Un résultat important du dossier de sûreté est en effet l'identification des incertitudes susceptibles de compromettre la sûreté. Il convient donc d'établir un rapport entre les principales incertitudes ainsi mises au jour et les mesures ou actions spécifiques qui seront prises pour les gérer, par le programme de R-D notamment, de façon à pouvoir constituer un dossier de sûreté adapté à la procédure d'autorisation. Le traitement explicite des incertitudes est par conséquent un élément essentiel de la construction de la confiance dans un dossier de sûreté. Cette confiance repose sur une évaluation fiable de la sûreté précisant sans ambiguïté le niveau de qualité des données, justifiant clairement les hypothèses et analysant la sensibilité des performances du système aux incertitudes. C'est pourquoi le dossier de sûreté doit décrire les incertitudes ainsi que les

actions à mener lors des étapes suivantes du développement du dépôt afin de les réduire.

Tous les responsables de programmes nationaux s'accordent à reconnaître l'importance de la gestion des incertitudes dans un dossier de sûreté. Il existe diverses manières de gérer ces incertitudes et d'établir des niveaux de confiance. Étant donné la diversité des incertitudes à traiter, cela nécessite une classification claire. Il en existe d'ores et déjà plusieurs – incertitudes épistémiques, incertitudes de variabilité et incertitudes stochastiques – et l'idée de classer les incertitudes est à la fois très employée et jugée nécessaire pour les analyses d'incertitudes. La gestion des incertitudes comporte entre autres l'évaluation des incertitudes quantifiables lors de l'évaluation quantitative des performances du système. Toutefois, comme il est impossible de quantifier toutes les incertitudes, d'autres éléments d'information complémentaires qualitatifs faisant partie du dossier de sûreté seront aussi mis à contribution pour la gestion des incertitudes (AEN, 2004). Gérer les incertitudes consiste aussi à cerner leurs

* M. Björn Dverstorp, du Statens strålskyddinstitut (SSI) a présidé l'Atelier sur la gestion des incertitudes dans le dossier de sûreté et le rôle du risque. M. Abe Van Luik, du Department of Energy (DOE) des États-Unis a présidé le Groupe d'intégration pour le dossier de sûreté des dépôts de déchets radioactifs (IGSC) de 2000 à 2004. M. Hiroyuki Umeki, du Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) préside l'IGSC depuis la fin de l'année 2004. Mme Sylvie Voinis, du Secrétariat de l'AEN assure le secrétariat scientifique de l'IGSC. Roger Wilmot travaille pour Galson Sciences.

implications potentielles et, dans certains cas, à faire en sorte de les contenir par le choix du site et des adaptations de la conception. D'autres aspects, tels que la politique adoptée, le contexte social, la disponibilité des ressources, et le calendrier des décisions influenceront aussi sur ces choix.

Lors de la présentation du dossier de sûreté, on insistera sur l'évaluation des performances attendues de l'installation de gestion des déchets et l'argumentaire associé. Toutefois, évaluer ces performances attendues de l'installation, nécessite de les associer aux incertitudes compte tenu de l'état actuel du développement du système.

Travaux antérieurs de l'AEN consacrés à l'incertitude

L'une des premières activités de l'AEN concernant la question des incertitudes fut une réunion organisée en 1987 à Seattle au cours de laquelle l'importance de traiter les incertitudes dans les évaluations des performances post-fermeture des dépôts de déchets a été soulignée. Cette première prise de conscience a été développée dans les années suivantes à travers une série de réunions et de séminaires organisés par l'AEN. Le Groupe sur l'évaluation probabiliste des systèmes pour la gestion des déchets radioactifs (PSAG), qui a encouragé la réflexion sur les différentes approches et organisé une série d'exercices de comparaison de codes de calcul, a joué un rôle de premier plan à cet égard (AEN, 1997a). On retiendra aussi les initiatives du Groupe de travail sur les évaluations intégrées des performances des dépôts profonds (AEN, 1997b, 2002a), les ateliers sur la construction de la confiance (AEN, 1999) et sur le traitement des échelles de temps (AEN, 2002b) ainsi que le développement actuel de la brochure sur le dossier de sûreté (AEN, 2004).

Ces activités ont permis de dégager quelques conclusions générales concernant le traitement des incertitudes dans un dossier de sûreté :

- Le dossier de sûreté documente les décisions prises à chaque étape du processus décisionnel par étape. La tendance est donc à l'établissement de dossiers de sûreté expliquant pourquoi les résultats présentés ont été jugés dignes de confiance et en quoi ce dossier suffit pour justifier la décision en question. De ce point de vue, la déclaration doit faire état des incertitudes, de leur importance au stade actuel de l'évaluation et des étapes à entreprendre ultérieurement pour réduire les incertitudes.
- Les incertitudes doivent être considérées comme un aspect inévitable des systèmes de gestion des déchets radioactifs, et elles augmenteront avec la durée des échelles de temps.
- Les incertitudes doivent faire l'objet d'un traitement explicite et une approche systématique facilitera leur compréhension.
- Il sera éventuellement intéressant de combiner les approches déterministe et probabiliste. La décision ne se fondant pas sur une valeur numérique de l'incertitude, il convient de clarifier le rôle de chaque approche dans le dossier de sûreté.
- Une série de scénarios doivent être considérés afin d'explorer les incertitudes, l'intrusion humaine occupant une place particulière dans les scénarios considérés.
- Le traitement des incertitudes et la mise au point du dossier de sûreté passent par la mise en place de plusieurs arguments. Une combinaison d'arguments quantitatifs et qualitatifs inspirera confiance tant dans l'auteur de l'analyse que dans l'expert chargé de l'instruire. Globalement, le

dossier de sûreté répondra mieux aux demandes de la prise de décision s'il y inclut une notification expliquant en quoi l'on peut se fier à l'analyse des performances et de ses incertitudes.

L'atelier de 2004 sur la gestion des incertitudes

Pour capitaliser les enseignements tirés des activités et ateliers antérieurs et offrir un forum de discussions sur le traitement des incertitudes et du risque, le Groupe d'intégration pour le dossier de sûreté des dépôts de déchets radioactifs (IGSC) a décidé d'organiser un atelier consacré à la gestion des incertitudes dans les dossiers de sûreté et le rôle du risque. Cet atelier, qui a eu lieu à Stockholm du 2 au 4 février 2004 à l'invitation de l'Institut suédois de radioprotection (*Statens strålskyddinstitut* – SSI) avait pour objectif global de créer une plateforme destinée à approfondir les différentes manières de gérer les incertitudes dans un dossier de sûreté post-fermeture ainsi que les démarches réglementaires à adopter par les différents programmes nationaux de gestion des déchets radioactifs. Il s'agissait en particulier :

- de dégager les points communs aux différentes approches de gestion des incertitudes ;
- d'analyser les différentes approches adoptées pour établir des normes concernant l'instruction des dossiers par l'autorité de sûreté ;
- de faciliter les échanges d'informations et la discussion sur les différentes approches techniques de gestion et de caractérisation des incertitudes et sur le rôle du risque ;
- d'étudier les mérites des différentes méthodes utilisées pour l'information du risque dans la prise de décision ;
- de déterminer les possibilités de perfectionner les méthodes ou stratégies employées pour la gestion des incertitudes.

L'AEN a établi une synthèse de l'atelier, qui a été publiée avec les actes de la réunion (AEN, 2005). Les principales conclusions peuvent être résumées comme suit :

Qu'est-ce qu'un risque?

Diverses définitions sont parfois adoptées pour parler du « risque ». Le « risque » a des significations différentes selon ses utilisateurs (exploitants de centrales, organismes de gestion des déchets, etc.) et des attributs définissant différents points de vue et manières de traiter le risque : objectiviste/réaliste (le risque est considéré comme réel) ou constructivistes (le risque est considéré comme une construction mentale), approche quantitative versus qualitative et des formulations mathématiques diverses (probabilité multipliée par conséquence ; espérance mathématique de la désutilité et formulations ouvertes). Pour l'expert technique, le « risque » désigne souvent le produit d'une probabilité par une conséquence. Dans les discussions publiques, le « risque » est parfois restreint à la probabilité (d'une conséquence négative) bien que le public s'intéresse au plus haut point aux conséquences. Tant le risque « perçu » que le risque « réel » importent. Les deux sont d'ailleurs source d'inquiétude du public. À titre d'exemple, le risque peut être défini comme ce qui caractérise un danger potentiel en termes de probabilité et d'importance. Il est rare que l'on considère le produit des deux. C'est pourquoi des expressions comme « la probabilité d'un risque » ou « l'importance d'un risque » se rapportent à deux variables indépendantes. L'expression « analyse de risque » renvoie aux méthodes employées dans l'industrie nucléaire et non nucléaire pour identifier les sources de danger potentielles et les classer par ordre d'importance.

Les définitions supplémentaires qui suivent ont été proposées :

- approche fondée sur le risque : « décision réglementaire fondée exclusivement sur les résultats numériques d'une évaluation des risques » ;
- information par le risque : « informations sur le risque associées à d'autres facteurs » ;
- approche déterministe : « emploi dans la modélisation de valeur fixes pour caractériser l'incertitude » ;
- approche probabiliste : « caractérisation de l'incertitude par des fonctions de distribution utilisées en données d'entrée pour la modélisation » ;
- risque : « conséquence multipliée par la probabilité d'occurrence ».

Les discussions lors de l'atelier ont permis de retenir qu'une interprétation différente des principaux termes et concepts peut parfois nuire à la discussion et à la compréhension des démarches de réglementation et d'évaluation nationales. Des définitions claires lors de l'élaboration du dossier de sûreté, sont par conséquent une clé du succès du dialogue avec les différentes parties prenantes.

Approches réglementaires

Il n'existe pas de distinction franche entre réglementations reposant sur des critères de risque et réglementation reposant sur des critères de dose. Les réglementations exigeant un calcul de dose pour l'évolution normale ou prévue nécessitent parfois d'évaluer le risque correspondant à des scénarios moins probables. Qui plus est, il arrive que des réglementations exigeant de calculer le risque lié à des événements et processus naturels n'imposent pas d'évaluer les probabilités des scénarios d'intrusion humaine. Les autorités de sûreté attribuent la même importance au traitement des incertitudes quel que soit le critère d'évaluation réglementaire. Or si les attentes des

autorités de sûreté vis-à-vis de l'évaluation et de la présentation des incertitudes varient avec le critère considéré, on ne peut pas en dire autant de l'argumentation, de la transparence et de la traçabilité, de la justification des hypothèses ainsi que d'autres aspects qualitatifs du traitement de l'incertitude.

Pour les autorités de sûreté, les relations établies avec les organismes de gestion des déchets avant le dépôt de la demande d'autorisation sont l'occasion de cerner les difficultés, d'harmoniser les approches et ainsi d'économiser sur les moyens et le temps nécessaires pour instruire la demande d'autorisation.

Évaluation des incertitudes et du risque

Toutes les évaluations doivent répondre aux trois questions qui définissent le risque : Que peut-il se passer ? Quelles seront les conséquences ? Quelle est la probabilité ? Les méthodes employées se distinguent selon que les probabilités sont attribuées de manière plus ou moins explicites (densités de probabilité) ou implicites (sélection des scénarios plus ou moins probables). L'utilisation explicite des probabilités pour caractériser une incertitude ne se limite pas au seul calcul de risque. Dans l'ensemble, les calculs déterministes et probabilistes ont un rôle à jouer dans les évaluations qu'elles soient orientées sur le risque ou non.

L'une des principales différences entre les méthodes employées pour traiter les incertitudes concerne leur niveau d'agrégation ou de désagrégation. Les analyses désagrégées permettent d'acquiescer une connaissance détaillée du système et de recueillir des informations nécessaires pour établir les choix de conception et définir les priorités de la recherche. Au contraire,

les analyses agrégées sont utiles pour évaluer des scénarios qui ont un effet similaire sur les fonctions de sûreté, et elles sont demandées dans certaines approches réglementaires.

Toutes les formes d'évaluation des incertitudes font nécessairement appel aux jugements d'experts. Les avis concordent sur la nécessité d'instituer un mécanisme formalisé décrivant comment documenter et utiliser efficacement les jugements d'experts. L'utilisation des experts est encouragée dans le cas de sources d'informations contradictoires, lorsque l'on dispose de données de laboratoire mais que les informations recueillies sur le terrain comportent des incertitudes, si l'on manque d'éléments de preuves ou d'informations sur les incertitudes et si les modèles et les procédures n'ont pu être vérifiés. Le jugement d'experts est aussi un moyen de consigner les informations disponibles à un moment donné, et comme pour les autres méthodes, il faudra éventuellement les mettre à jour lorsque de nouvelles données apparaîtront. Le choix des experts est par ailleurs crucial : ce processus de sélection devant être mené avec autant de soins que les jugements eux-mêmes. La difficulté peut-être la plus méconnue en la matière consiste à spécifier les sujets particuliers à traiter.

La dilution ou dispersion du risque est reconnue comme étant une difficulté potentielle dans certaines évaluations selon la méthodologie employée et le contexte réglementaire. Dans certaines conditions, la dilution du risque peut conduire à une atténuation apparente du risque, par exemple si l'on évalue des événements aux conséquences majeures mais dont la date d'occurrence comporte une forte incertitude. Il n'existe toutefois pas de solution mathématique simple à ce problème lié pour partie à la philosophie réglementaire

concernant la protection et la définition du groupe exposé. Pour les participants à l'atelier, l'analyste devrait explorer les effets potentiels de la dilution du risque, et les autorités de sûreté en être conscientes et envisager d'établir des recommandations concernant les méthodes qu'ils jugeraient comme acceptables.

Gestion du risque et prise de décision

Les processus décisionnels varient suivant les pays en fonction des régimes juridiques et des traditions culturelles. La contribution des différentes parties prenantes à la décision diffère également suivant les pays. Dans tous les cas, il importe d'établir très tôt un dialogue, et d'opter pour la transparence et l'ouverture. Pour les destinataires de l'information sur le dossier de sûreté, la signification du terme « risque » n'est pas forcément identique. C'est pourquoi les résultats des études de risques doivent être replacés dans le contexte général de façon à informer un éventail le plus large possible de destinataires. L'évaluation du risque est une étape initiale d'un processus séquentiel qui inclut la prise de décision et la gestion du risque. S'agissant de la sûreté des dépôts de déchets radioactifs, on est en droit de s'interroger sur le fait que les risques puissent évoluer après la fermeture du dépôt. Pour gérer le risque, on pourra recourir notamment à la décision par étapes, à la réversibilité/récupérabilité et à la surveillance. Bien que les participants à l'atelier ne soient pas parvenus à un consensus quant au rôle qui pourrait être attribué à ces différentes approches, il leur a paru intéressant d'associer de manière itérative l'évaluation des risques et la gestion du risque.

Un dialogue continu

Un dialogue continu au niveau international entre les autorités de sûreté et les orga-

nismes de gestion des déchets sur les incertitudes et la gestion du risque pourrait être envisagé afin d'approfondir les approches réglementaires et de partager les expériences acquises sur l'utilisation des différents outils et méthodes d'évaluation. À mesure que les programmes avancent, une des méthodes d'évaluation des risques des dépôts devrait converger ; toutefois, un dialogue continu aidera à mieux comprendre ces différentes méthodes, avec leurs points forts et leurs points faibles. Ce savoir pourrait être utilisé pour convaincre les différentes parties prenantes et les décideurs que la méthode employée permet effectivement d'atteindre l'objectif visé. ■

Note

1. Un dossier de sûreté est un recueil d'arguments établi à une étape donnée du développement d'un dépôt pour justifier la sûreté à long terme de ce dernier.

Références

- AEN (1997a), *Disposal of Radioactive Waste. The Probabilistic System Assessment Group: History and Achievements, 1985-1994*, OCDE, Paris.
- AEN (1997b), *Disposal of Radioactive Waste: Lessons Learnt from Ten Performance Assessment Studies*, OCDE, Paris.
- AEN (1999), *Confidence in the Long-term Safety of Deep Geological Repositories: Its Development and Communication*, OCDE, Paris.
- AEN (2002a), *Établir et faire partager la confiance dans la sûreté des dépôts en grande profondeur*, OCDE, Paris.
- AEN (2002b), *Gestion des échelles de temps dans l'évaluation de la sûreté en phase post-fermeture – Enseignements tirés de l'atelier d'avril 2002 à Paris, France*, OCDE, Paris.
- AEN (2004), *Dossier de sûreté post-fermeture d'un dépôt en formation géologique : nature et finalité*, OCDE, Paris.
- AEN (2005), *Management of Uncertainties in Safety Cases and the Role of Risk: Workshop Proceedings, Stockholm, Sweden, 2-4 February 2004*, OCDE, Paris.

Sûreté du cycle du combustible nucléaire

B. Kaufer, D. Ross *

Le cycle du combustible nucléaire commence avec l'extraction minière, se poursuit par une série d'étapes comprenant le traitement, la conversion et l'enrichissement, la fabrication du combustible, sa combustion en réacteur, son retraitement (dans certains pays membres) et son transport, pour se terminer par l'entreposage et le stockage du combustible usé et des déchets radioactifs. Le transport intervient entre ces différentes étapes du cycle qui possède chacune, du point de vue de la sûreté, sa spécificité.

Le Sous-groupe sur la sûreté du combustible (FCS) du Comité de l'AEN sur la sûreté des installations nucléaires a été créé en 1976 afin d'approfondir les aspects pertinents de la sûreté du cycle du combustible nucléaire dans les pays membres. Ce sous-groupe constitue un lieu d'échanges d'informations et d'expérience sur tout ce qui concerne la sûreté du cycle. Il a mis au point un système de collecte et de diffusion du retour d'expérience sur les diverses étapes du cycle du combustible et se réunit régulièrement pour étudier les événements ainsi recueillis et analyser dans le détail les plus significatifs.

L'idée d'un document unique consacré à la sûreté de toutes les étapes du cycle du combustible s'est concrétisée voilà près de 25 ans avec la publication par l'AEN de la première édition de l'ouvrage intitulé *La sûreté du cycle du combustible nucléaire*. En 1993, le FCS a réexaminé la question et établi une nouvelle édition de cet ouvrage. Il a réuni ces dernières années les matériaux nécessaires à la réalisation d'un nouvel examen et à la rédaction d'une mise à jour qui doit être publiée en 2005.

Le cycle du combustible nucléaire

Par « cycle du combustible nucléaire » on désigne une série d'activités qui, comme leur nom l'indique, forment ensemble un cycle. Dans son rapport, le Sous-groupe sur la sûreté du cycle du combustible a délibérément omis deux activités du cycle. L'exploitation des réacteurs, qui relève en fait de la sûreté du cycle du combustible, figure dans d'autres parties du programme de travail de l'AEN, de même que la sûreté du stockage des déchets de haute activité. Par ailleurs, on distingue les cycles du

combustible selon qu'ils sont ouverts, ce qui signifie que le combustible sorti du réacteur est envoyé dans un dépôt de stockage définitif, ou fermés, auquel cas le combustible irradié est retraité et les isotopes fissiles réutilisés. Les rapports sur la sûreté du cycle du combustible traitent de ces deux types de cycles.

La mise à jour de 2005 de *La sûreté du cycle du combustible nucléaire* s'intéresse tant aux aspects techniques qu'à la sûreté des diverses étapes du cycle du combustible. On y trouve également résumés les incidents d'exploitation les plus significatifs survenus aux cours des 50 dernières années ainsi que les enseignements qui en ont été tirés.

La sûreté du cycle du combustible nucléaire ces dix dernières années

Depuis la dernière mise à jour de *La sûreté du cycle du combustible nucléaire* en 1993 la situation est restée, dans l'ensemble, assez stable. Si le nombre de réacteurs dans la zone de l'OCDE s'est accru de plus de 10 % (passant de 321 à 360), certains pays membres, par contre, ont décidé de cesser de construire des installations nucléaires. La détermination de l'ensemble de la planète à réduire sa consommation de combustibles fossiles pour

* M. Barry Kaufer (barry.kaufer@oecd.org) travaille dans la Division de la sûreté nucléaire de l'AEN. M. Denny Ross (dfross@erols.com) est consultant auprès de l'AEN.

abaisser les émissions de gaz à effet de serre et d'autres sous-produits de la combustion pourrait conditionner l'avenir du nucléaire dans les pays de l'OCDE. Assurément, le nucléaire pourrait jouer un rôle primordial car il permet de produire de l'électricité sans rejeter de dioxyde de carbone ni certains autres éléments ou composés indésirables. Les évolutions qui ont marqué, ces dix dernières années, les diverses étapes du cycle du combustible peuvent se résumer de la manière suivante :

- Les centrales nucléaires ont fonctionné sans problème de sûreté majeur.
- Chaque année on a extrait, purifié, converti, enrichi (le cas échéant) près de 60 000 tonnes d'uranium qui ont été transformées en assemblages combustibles et chargés dans des réacteurs.
- En sortie du réacteur, ce combustible a été entreposé (sous eau ou à sec) ou transporté dans des usines de retraitement. Parfois, la durée de ces opérations a été particulièrement longue, les transports par bateau du Japon en Europe, par exemple.
- La plupart de ces opérations du cycle du combustible se sont déroulées sans incident. Deux incidents majeurs d'exploitation sont néanmoins à noter, un feu de bitume survenu dans une installation pilote de la *Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation* (PNC) au Japon et une excursion de criticité dans l'usine de la *Japan Nuclear Fuel Conversion Company* (JCO) qui a entraîné des morts dans l'équipe de travail.
- Ces dix dernières années, les efforts en vue d'abaisser encore les doses d'exposition des travailleurs, et les rejets de radioactivité dans l'atmosphère et dans l'eau se sont poursuivis.

- L'étude des facteurs humains et son corollaire, la culture de sûreté, ont également pris de l'ampleur et acquis davantage de maturité ces dix dernières années. Étant donné l'importance des facteurs humains pour la sûreté du cycle, ces aspects sont désormais au centre de l'attention des autorités de réglementation et des propriétaires d'installation.

Évolution du cycle du combustible nucléaire

Depuis l'édition de 1993 du rapport sur la sûreté du cycle du combustible, plusieurs événements techniques et géopolitiques ont fait évoluer la technologie du cycle du combustible.

Extraction et traitement : Il existe plusieurs méthodes d'extraction de l'uranium. L'une d'entre elles, la lixiviation *in situ* (ISL), a reçu davantage d'attention parce qu'elle ne laisse pas d'importants dépôts de résidus après la fermeture de la mine. Il n'est pourtant pas toujours possible de recourir à cette méthode qui exige des minéralisations adaptées de sorte que les modes d'extraction traditionnels à ciel ouvert et souterrain restent prédominants. Dans certains pays, notamment aux États-Unis et en Europe, mais aussi en Afrique, on a pour ainsi dire cessé d'extraire le minerai d'uranium. Cela est dû à plusieurs facteurs : la faible teneur du minerai dans ces pays, la demande relativement éteinte, la faiblesse du prix de l'uranium pendant vingt ans, jusqu'en 2001, et la disponibilité d'uranium issu du programme russo-américain de démantèlement des armes nucléaires.

Enrichissement : La méthode d'enrichissement autrefois privilégiée était la diffusion gazeuse. Cette méthode permet de produire une grande quantité d'uranium enrichi, mais elle consomme aussi beaucoup d'électricité. La

plupart des usines de diffusion gazeuse sont assez anciennes. Aujourd'hui c'est l'ultracentrifugation qui est considérée comme la technologie privilégiée. Au cours des dix dernières années, d'importants travaux ont été effectués pour mettre au point la technique d'enrichissement par laser. Pourtant, malgré des dépenses s'élevant à plus d'un milliard d'USD, ce concept n'est toujours pas viable.

Fabrication du combustible : La technologie de fabrication du combustible n'a pas beaucoup évolué ces dix dernières années. On utilise toujours comme combustible une céramique d'oxyde, et les alliages de zirconium sont toujours le matériau de gainage privilégié. Les progrès du retraitement ont permis d'utiliser davantage le combustible MOX (uranium et plutonium).

Retraitement : Plusieurs usines de retraitement ont ouvert leurs portes au Royaume-Uni et au Japon. Les usines de La Hague, en France, fonctionnent à leur puissance nominale.

Démantèlement : Le démantèlement, qui fait partie des étapes du cycle du combustible, est en cours dans plusieurs installations. Aucun problème de sûreté significatif n'a été signalé dans ce secteur.

Transports : Les transports sont une étape nécessaire du cycle ; ils assurent d'ailleurs le lien entre ces étapes. Le transport n'a pas connu de changement majeur au cours des dix dernières années. Toutefois, les recherches se poursuivent sur les conséquences d'une collision grave avec un camion ou un train lors du transport de combustible irradié de même que sur le thème, plus récent, d'un éventuel attentat terroriste visant un convoi de combustible.

Rapports d'incidents

Le Sous-groupe sur la sûreté du combustible tient à jour un

système de recueil d'incidents connu sous le nom de Système de notification et d'analyse des incidents relatifs au cycle du combustible (FINAS). Cette base de données contient aujourd'hui plus d'une centaine d'incidents concernant les diverses étapes du cycle du combustible. Le système constitue un moyen de favoriser les échanges d'informations, y compris sur les actions correctives et les enseignements tirés. En 2004, l'AEN et l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) sont convenues d'exploiter en commun la base

de données FINAS. Cette décision se traduira notamment par la mise en place d'un système de consultation des incidents comparable à celui qui existe déjà pour les incidents survenant dans les centrales nucléaires commerciales.

Conclusions

L'analyse des résultats des dix dernières années permet de conclure à une véritable maturation du cycle du combustible. D'importantes améliorations de la technologie et de la sûreté sont intervenues aux diverses étapes du cycle

du combustible. On note aussi des progrès sensibles dans la nature et les modalités du recueil et de la diffusion, à tous les niveaux du cycle, du retour d'expérience. Le système de notification est désormais accessible aux États membres de l'AIEA. Le Sous-groupe sur la sûreté du cycle du combustible continue d'offrir une enceinte où échanger des informations sur la sûreté, et la publication de l'édition 2005 de *La sûreté du cycle du combustible nucléaire* devrait servir la cause de la sûreté nucléaire. ■

Nouvelles brèves

Le Forum international Génération IV aborde une nouvelle phase

Le Forum international Génération IV (GIF) est une initiative internationale majeure dont l'objectif est de développer la prochaine génération de systèmes nucléaires. Il a été lancé par le ministère de l'Énergie des États-Unis au mois de janvier 2000 et a été constitué officiellement en 2001. Le 28 février, le Forum GIF a franchi une étape importante avec la signature par cinq de ses membres (le Canada, les États-Unis, la France, le Japon et le Royaume-Uni) d'un accord-cadre inter-gouvernemental, le *Framework Agreement for International*

Collaboration on Research and Development of Generation IV Nuclear Energy Systems, qui énonce les mesures à prendre pour encourager la participation au Forum des établissements de recherche et de développement et des industriels et définit les dispositions pratiques indispensables, comme la répartition des droits de propriété industrielle sur les systèmes qui seront développés.

Cet accord a pris effet immédiatement après la cérémonie de signature organisée à l'Ambassade de France à Washington, DC. Le 13 avril 2005, la Suisse

a annoncé son intention d'adhérer à l'accord, et d'autres membres du Forum devraient la suivre dans les mois qui viennent. Durant cette période transitoire, tous les membres continueront de participer aux activités du Forum. À l'heure actuelle, le Forum réunit la République d'Afrique du Sud, l'Argentine, le Brésil, le Canada, la République de Corée, les États-Unis, Euratom, la France, le Japon, le Royaume-Uni et la Suisse.

Les systèmes nucléaires de quatrième génération doivent présenter d'importantes

améliorations par rapport aux systèmes existants du point de vue de l'économie, de la sûreté et de la fiabilité, de la non-prolifération et de la protection physique, et enfin de la durabilité. La « feuille de route technologique » publiée en 2002 avait permis de dégager de l'analyse de plus d'une centaine de concepts les six systèmes technologiques les plus prometteurs, mais aussi de définir les études et recherches à entreprendre pour que ces systèmes soient exploités à échelle industrielle d'ici 2030. Ces six systèmes sont les suivants :

- **Système à réacteur rapide refroidi au gaz (GFR)**

Le système GFR se caractérise par un spectre rapide, un réacteur refroidi par de l'hélium et un cycle du combustible fermé. Les principales difficultés que présente ce système concernent la mise au point de nouveaux combustibles et matériaux capables de supporter une température de 850°C, la conception du cœur et la turbine fonctionnant à l'hélium.

- **Système à réacteur rapide refroidi au plomb (LFR)**

Ce système se caractérise par un spectre rapide et un réacteur à caloporteur plomb ou alliage liquide plomb/bismuth ainsi que par un cycle du combustible fermé. Les principaux obstacles à surmonter sont la manipulation du plomb ou de l'alliage de plomb ainsi que la mise au point de combustible et matériaux adaptés à un fonctionnement dans une plage de température de 550-800°C.

- **Système à réacteur à sels fondus (MSR)**

Ces systèmes utilisent un mélange de sels fondus circulant dans un réacteur à spectre épithermique, avec recyclage intégral des acti-

nides. La chimie et la manipulation des sels fondus et la mise au point des matériaux sont les principaux défis à relever dans le cas de ce système dont la température de fonctionnement se situe entre 700 et 800°C.

- **Système à réacteur rapide refroidi au sodium (SFR)**

Le système SFR possède un spectre rapide, un réacteur à caloporteur sodium et un cycle du combustible fermé. Les coûts en capital, l'amélioration de la sûreté passive, notamment lors de transitoires, sont les principales difficultés à surmonter avec ce système qui jouit déjà d'une importante expérience technologique.

- **Système à réacteur refroidi à l'eau supercritique (SCWR)**

Ce système SCWR comporte un réacteur refroidi par de l'eau à haute pression et haute température qui fonctionne au-delà du point critique de l'eau (374°C et 22,1 MPa). La corrosion des matériaux et la chimie de l'eau vers 500/550°C mais aussi la mise au point de matériaux adaptés sont les principaux problèmes à résoudre dans le cas de ce système.

- **Système à réacteur à très haute température (VHTR)**

Le système VHTR comprend un réacteur dont le modérateur est du graphite et le caloporteur de l'hélium, intégré à un cycle à l'uranium ouvert. Comme ces réacteurs sont conçus également pour produire de l'hydrogène et de la chaleur de procédé, on vise des températures de fonctionnement supérieures à 1000°C, ce qui n'est pas sans soulever d'importantes difficultés dues à la nécessité de concevoir des combustibles et matériaux adaptés et de préserver la sûreté dans des conditions transitoires.

Comme le spécifient la charte du Forum et les documents d'orientation ultérieurs, le GIF est dirigé par un Comité directeur responsable du cadre d'ensemble, de la définition de la stratégie à suivre et des relations avec des tiers. Un Groupe d'experts a été constitué pour le conseiller sur la stratégie, les priorités et la méthodologie de R-D et évaluer les programmes de recherche proposés concernant chacun des systèmes de quatrième génération étudiés. Le Comité directeur du GIF se réunit deux à trois fois par an pour faire le point sur les activités entreprises, donner des instructions au groupe d'experts et aux comités en charge de chacun des systèmes à l'étude, et définir l'orientation ultérieure du programme. Actuellement, les États-Unis assurent la présidence, la France et le Japon la vice-présidence. À sa réunion de janvier 2005, le Comité directeur a confirmé les dispositions mises en place pour que l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire assure le secrétariat technique de GIF, y compris le financement de cette activité par des contributions volontaires des membres du GIF. L'AEN peut faire bénéficier le Forum de sa longue expérience du fonctionnement de groupes de travail internationaux, de sa neutralité, de sa stabilité à long terme et d'une vision globale tant en matière d'organisation que de substance pour les activités de R-D du GIF. ■

Le lecteur trouvera un complément d'information sur le Forum GIF à l'adresse www.gen-4.org.

L'énergie nucléaire pour le 21^{ème} siècle

Une conférence internationale sur le thème « L'énergie nucléaire au 21^e siècle » s'est tenue à Paris les 21 et 22 mars 2005. Elle était organisée par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), en collaboration avec l'OCDE et l'AEN, et à l'invitation du gouvernement français. Il s'agissait d'analyser dans quelle mesure l'énergie nucléaire pourrait contribuer à satisfaire de manière économique les besoins en énergie de la planète dans le respect des préoccupations sociales et environnementales. Des ministres, des hauts responsables et des spécialistes de 74 pays et 10 organisations internationales ont assisté à cette conférence.

La conférence consacrée à l'énergie nucléaire au 21^e siècle¹ vient à point nommé car tous les gouvernements sont confrontés au double défi d'assurer la sécurité d'approvisionnement et de parer au changement climatique. C'est dans ce contexte qu'un certain nombre de pays membres de l'AEN ont entrepris de reconsidérer la place potentielle de l'énergie nucléaire dans leurs parcs énergétiques.

Des interventions des ministres et tables rondes réunissant des experts invités pendant deux jours, il ressort que, dans des conditions propices, l'énergie nucléaire peut constituer un élément de réponse au défi que représente la nécessité de satisfaire la demande énergétique croissante et de garantir la sécurité d'approvisionnement en énergie, tout en parant au changement climatique. Cela ne signifie pas pour autant qu'elle soit une solution adaptée à tous. Certains pays ont clairement démontré, notamment en choisissant la sortie du nucléaire, que cette forme d'énergie n'a pas leur préférence. Dans son allocution inaugurale lors de la séance d'ouverture, Mohamed ElBaradei, le Directeur général de l'AIEA, a reconnu que « ...chaque pays, chaque région doit choisir sa stratégie énergétique en fonction d'un nombre de paramètres variables et qu'il n'y a pas de solution toute faite en la matière ». Le ministre

délégué à l'Industrie, Patrick Devedjian, a insisté notamment sur les multiples facettes de la politique énergétique, qui impose de prendre en considération divers facteurs économiques, sociaux et environnementaux notamment.

Le changement climatique

Le Secrétaire général de l'OCDE, Donald Johnston a évoqué, à l'instar de nombreux ministres et participants aux tables rondes, les conséquences probables du changement climatique. « C'est donc maintenant, avec sérieux et en toute objectivité, que les pays développés et le monde en développement doivent se saisir de la question du changement climatique » a-t-il déclaré aux délégués. L'industrie énergétique mondiale doit se transformer. Depuis les transports jusqu'à la production d'électricité, il faudra opérer des transformations majeures pour tenter de stabiliser l'effet de serre mais aussi pour s'adapter à l'épuisement des réserves de pétrole et de gaz à plus long terme.

Le pronostic de James Lovelock concernant le changement climatique est encore plus sévère « ...je considère que l'état de la terre a atteint aujourd'hui un stade très dangereux pour nous et pour notre civilisation ». Il a ensuite décrit comment les spécialistes du climat sont sûrs que lorsque les niveaux de dioxyde de car-

bone dans l'air atteindront environ 400 à 500 parties par million, la terre aura franchi un seuil au-delà duquel le réchauffement sera irréversible. « Le niveau de dioxyde de carbone est aujourd'hui de 380 parties par million et, au rythme de croissance actuel, il pourrait atteindre 400 parties par million en moins de sept ans ».

Que peut-on faire ? Tous les orateurs ou presque soulignent l'importance de conserver tous les modes de production d'énergie et insistent pour dire que l'énergie nucléaire n'est pas en concurrence avec les sources d'énergie renouvelables. Comme l'a observé Mohamed ElBaradei à la conférence de presse le premier jour « ...nous ne pouvons pas nous permettre de ne pas exploiter toutes les sources d'énergie accessibles – qu'il s'agisse du pétrole, du gaz, du nucléaire ou des énergies renouvelables ».

Lors d'une table ronde sur les besoins mondiaux en énergie qui était présidée par le Directeur général de l'AEN, Luis Echávarri, le directeur exécutif de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), Claude Mandil, a affirmé qu'il n'y a pas de solution unique aux problèmes énergétiques de la planète. Il a décrit comment des politiques plus vigoureuses pouvaient ralentir de manière significative le rythme de croissance de la demande d'énergie et des émissions, tout en

observant qu'un système énergétique, pour être véritablement durable, exigerait une accélération des progrès technologiques et de leur mise en place par rapport à la situation actuelle. L'énergie nucléaire a un rôle important à jouer dans le paysage énergétique mondial, mais l'industrie et les gouvernements doivent s'y appliquer. C'est là une question reprise par d'autres orateurs, en particulier, la Présidente d'AREVA, Anne Lauvergeon, qui a fait remarquer que l'énergie nucléaire a été exclue de l'actuel mécanisme pour un développement propre (MDP) du Protocole de Kyoto. Ce mécanisme permet à des pays d'acquiescer des « crédits d'émission » s'ils financent des projets de réduction des émissions dans d'autres pays auxquels ils fournissent des technologies énergétiques propres. Dans son discours de clôture, le ministre délégué à l'Industrie, M. Devedjian a plaidé pour que l'énergie nucléaire mais aussi l'énergie hydraulique soient prises en compte dans ce mécanisme.

La sécurité d'approvisionnement

La stabilité des approvisionnements en énergie compte parmi les raisons le plus souvent invoquées, notamment par les ministres japonais, tchèque et hongrois, pour préconiser l'intégration de l'énergie nucléaire dans un parc énergétique. Cette dernière peut être assimilée à une source d'énergie domestique dans la mesure où les ressources en uranium sont largement réparties dans le monde et que le combustible peut être facilement stocké à des prix raisonnables. D'importantes ressources existent en Australie, en Amérique du Nord, en Afrique et en Asie centrale. Cette répartition garantit à la fois la sécurité et la diversité des approvisionnements. Pour Dana Drabova, la présidente de l'autorité de

sûreté tchèque (SUJB), il appartient à l'État de créer les conditions indispensables pour garantir des approvisionnements fiables et permanents en énergie ainsi que l'exploitation sûre et rentable de cette énergie sans compromettre l'environnement et en respectant les principes du développement durable ».

Le secrétaire parlementaire japonais auprès du ministère de l'Économie, du Commerce et de l'Industrie, Koichi Hirata, a souligné que, si l'on parvenait à développer un cycle à réacteur surgénérateur rapide, « le Japon aurait accès à une source quasi-perpétuelle d'énergie ». Une évaluation exhaustive effectuée sur différents scénarios énergétiques adoptant dix perspectives différentes en 2004 a conduit le gouvernement japonais à conclure que le pays avait fait le bon choix en optant pour la politique actuelle qui tend vers la mise en place d'un cycle fermé du combustible nucléaire avec retraitement. D'autres pays, et notamment la France, ont également choisi de retraiter leur combustible nucléaire ou envisagent de le faire afin de récupérer l'uranium ou le plutonium réutilisable dans les éléments combustibles irradiés et de réduire le volume et la radiotoxicité des substances à éliminer sous forme de déchets radioactifs de haute activité.

La gestion des déchets radioactifs

La gestion des déchets radioactifs est l'un des défis spécifiques au nucléaire. Bien que l'on ait globalement trouvé et appliqué des solutions acceptables pour les déchets de faible activité et les déchets de moyenne activité à vie courte, il reste d'importants progrès à accomplir pour le stockage des déchets de moyenne et de haute activité à vie longue. Dans sa communication, le ministre des Ressources

naturelles du Canada, John Efford, a évoqué le travail effectué, conformément à la Loi canadienne sur les déchets de combustible nucléaire, par la Société de gestion des déchets nucléaires pour mettre au point des options à long terme dans le cadre d'un dialogue et de consultations avec les Canadiens, options que le gouvernement canadien examinera à la fin de l'année 2005. Au fil de ses travaux, cette Société a apporté la preuve que l'énergie nucléaire est compatible avec le développement durable. Christian Bataille, membre de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques chargé notamment d'une mission d'évaluation de la gestion des déchets radioactifs, a fait le point sur les projets de la France en la matière après les recherches entreprises conformément à la loi de 1991 qui porte son nom. Sur le front scientifique, on retiendra l'introduction à échelle industrielle de la séparation poussée et de la transmutation d'ici 2040, le stockage réversible en formation géologique des déchets de haute activité et à vie longue dans des dépôts souterrains sur lesquels des recherches sont en cours et la mise au point de solutions pour l'entreposage à long terme, sur des durées de 100 à 300 ans. S'agissant de la stratégie à adopter, M. Bataille retient trois axes essentiels : poursuite du dialogue sur la gestion des déchets radioactifs avec le parlement et la société civile, responsabilité nationale du financement de la recherche sur la gestion des déchets radioactifs et intégration de l'entreposage à long terme dans les compétences de l'Agence nationale de gestion des déchets, l'ANDRA. Plusieurs orateurs ont évoqué l'attention accordée aux projets américains et finlandais de gestion des déchets radioactifs, à Yucca Mountain au Nevada, et à Olkiluoto, qui devraient

fournir de précieux enseignements sur la stratégie à suivre.

Les aspects économiques

Sur le plan économique, la position de l'énergie nucléaire semble se renforcer et est d'ailleurs de plus en plus souvent évoquée. Dans sa communication, le ministre de l'Énergie des États-Unis, Samuel Bodman, cite une étude récente de l'Université de Chicago démontrant que, dans un marché libéralisé, les coûts de production d'électricité des centrales nucléaires peuvent concurrencer ceux des centrales au charbon et au gaz une fois absorbés les surcoûts de la construction des premières installations.

Parce que leur développement et leur construction sont très capitalistiques, les centrales nucléaires sont de plus en plus réalisées dans le cadre de *joint ventures*. Les technologies avancées étudiées pour le long terme sous l'égide du Forum international Génération IV (GIF) sont fréquemment citées pour illustrer le type de coopérations internationales indispensables pour pouvoir mettre sur le marché ce type de système le moment voulu et à des coûts raisonnables. Autres moyens préconisés pour améliorer encore les perspectives économiques de l'énergie nucléaire, une harmonisation internationale plus poussée des critères de sûreté et le développement des initiatives régionales, autrement dit la construction de centrales nucléaires desservant plusieurs pays. Shunsuke Kondo, le Président de la Commission de l'énergie atomique du Japon, a laissé entendre que les coûts en capital des centrales pouvaient être abaissés à condition d'écourter le processus d'autorisation et de construction en adoptant pour ce faire une conception standardisée, de partager les coûts d'ingénierie et d'autorisation de licences des têtes de série, de développer

des techniques de construction modulaire moins coûteuses et de mettre au point des outils de planification et de gestion de l'information permettant d'avoir recours à une main-d'œuvre moins importante.

La gouvernance

Pour Antonio Carlos de Oliveria Barroso, de la Commission nationale de l'énergie nucléaire du Brésil (*Comissão Nacional de Energia Nuclear*) la gouvernance définit qui influe, qui décide ainsi que les mécanismes en place pour faire jouer la responsabilité des décideurs. Les orateurs se sont largement accordés à reconnaître qu'il existe une spécificité de la gouvernance dans l'industrie nucléaire. D'après Dominique Maillard, le Directeur général de l'énergie et des matières premières du ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie « l'énergie nucléaire vient ajouter ses spécificités qui font que, plus que toute autre forme d'énergie, elle a besoin de cadres pour son utilisation, cadres que seuls les pouvoirs publics sont en mesure d'établir et d'assurer ». Les spécificités qu'il a identifiées sont la nécessité de gérer des intérêts économiques de long terme, la gestion du risque (dont la sûreté), les questions de non-prolifération et les relations avec la société civile. Les déclarations des ministres du Canada, de la Corée et de la Russie font largement écho à ses propos.

Le vice-président du Parlement européen, Alejo Vidal-Quadras Rocca, a appelé à la création d'un cadre législatif européen pour la sûreté nucléaire et la gestion des déchets radioactifs en s'appuyant sur le traité EURATOM comme base juridique. Il ne s'agit pas de s'arroger les prérogatives des États membres ni d'interférer avec les instruments de coopération internationale établis par l'AIEA, entre autres. Dans son intervention, le ministre italien Antonio Marzano a fait valoir

que l'on pourrait aussi plaider en faveur d'un marché unique (européen) du nucléaire qui se caractériserait par l'harmonisation des normes de sûreté technique, des critères communs de sécurité physique et une coopération renforcée pour la gestion des déchets nucléaires et le démantèlement. Sous réserve que les autres pays membres européens l'approuvent, cette démarche pourrait tirer parti des économies d'échelle et exploiter les institutions en place, pour apporter finalement plus de cohérence à la politique nucléaire de l'Europe et à sa stratégie à long terme concernant l'énergie.

Il convient également de noter le cas particulier des pays en développement qui essaient d'introduire le nucléaire dans leurs parcs énergétiques. Pour leur permettre de mener leurs projets à bien, la coopération internationale et les transferts de connaissances nucléaires sont indispensables. Ces pays, largement représentés à la conférence, ont exprimé des demandes dans ce sens.

En conclusion

Si les thèmes abordés au cours de ces deux journées sont bien connus des lecteurs réguliers de *AEN Infos*, le niveau de participation à la conférence, soit le nombre de pays représentés, mais aussi la qualité des membres de toutes les délégations, était exceptionnel et augure bien de la poursuite du dialogue international sur les risques et avantages de l'énergie nucléaire. ■

Note

1. Les communications présentées à la conférence peuvent être consultées à l'adresse www.parisnuclear2005.org.

Cet article a été rédigé par Andrew Macintyre du Secrétariat central de l'AEN.

Coûts prévisionnels de production de l'électricité

L'AEN et l'Agence internationale de l'énergie (AIE) ont récemment publié leur sixième rapport d'une série d'études sur les coûts prévisionnels de production de l'électricité. Cette dernière étude a été conduite par un groupe d'experts de dix-neuf pays membres et de deux organisations internationales, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et la Commission européenne (CE). Cette dernière a collecté des informations provenant de trois pays non membres. L'objectif principal de l'étude était de fournir des données fiables sur les facteurs essentiels influant sur l'économie de la production d'électricité à partir de différentes technologies. Le rapport peut servir de source d'information aux décideurs et aux professionnels de l'industrie désireux de mieux appréhender les aspects techniques et économiques de la production électrique.

Le rapport présente et analyse les coûts prévisionnels de production de l'électricité calculés sur la base de données fournies par les experts participants et d'hypothèses génériques définies par le groupe. Le Secrétariat conjoint AEN/AIE a utilisé la méthode du coût moyen actualisé pour estimer les coûts de production de l'électricité produite par plus d'une centaine de centrales au charbon, au gaz, nucléaires, hydrauliques, solaires, éoliennes et autres ; des estimations de coûts de production de l'électricité sont données également pour des centrales cogénératrices de chaleur et d'électricité alimentées au charbon, au gaz ainsi qu'avec

des combustibles renouvelables. Les centrales considérées dans l'étude utilisent des technologies disponibles aujourd'hui sur le marché et susceptibles d'être mises en service dans les pays participants d'ici 2010 à 2015 ou plus tôt. Les hypothèses génériques pour les principaux paramètres économiques et techniques comprenaient une durée de vie économique de 40 ans pour la plupart des centrales, un facteur de charge moyen pour les unités en base de 85 %, et des taux d'actualisation de 5 et 10 %. Les annexes du rapport couvrent différents sujets tels que les technologies de production de l'électricité, l'intégration des risques financiers dans l'estimation des coûts, l'impact de l'introduction de centrales éoliennes dans les réseaux électriques et les effets des échanges de permis d'émission de carbone sur les coûts de l'électricité.

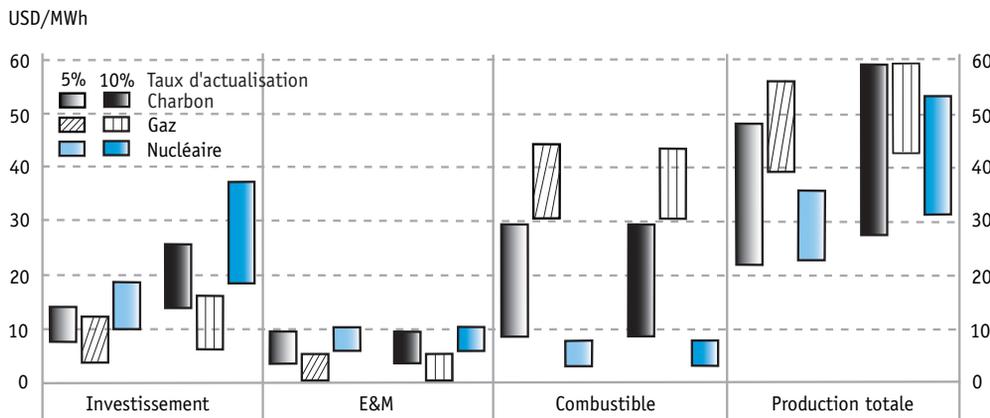
Les coûts de production d'électricité sont calculés aux bornes de la centrale et ne tiennent pas compte des coûts de transmission ni de distribution. Les coûts externes résultant des émissions résiduelles – y compris les gaz à effet de serre – ne sont pas inclus dans les données fournies et ne sont donc pas reflétés par les coûts de production de l'électricité calculés dans cette étude.

Les coûts présentés ne sont pas destinés à remplacer les évaluations économiques nécessaires aux investisseurs et aux compagnies d'électricité au stade de la décision et de la mise en œuvre d'un projet. En effet, ces évaluations requiè-

rent des hypothèses et un cadre spécifiques à chaque projet, reflétant les conditions locales et une méthodologie adaptée à la situation des investisseurs et des autres parties prenantes. En outre, la réforme des marchés de l'électricité a modifié la prise de décision dans le secteur électrique et conduit les investisseurs à prendre en compte les risques financiers associés aux différentes options tout autant que leurs performances économiques. Au vu des risques auxquels ils doivent faire face sur les marchés libéralisés, les investisseurs ont tendance à préférer des technologies plus flexibles et demandant moins de capitaux. La méthodologie utilisée pour calculer les coûts de production de l'électricité dans cette étude ne reflète pas de façon complète les risques des marchés ouverts.

La nature des risques influant sur les décisions des investisseurs a changé de façon notable avec la libéralisation des marchés de l'électricité et ceci influe sur les taux de retour sur les investissements du secteur électrique. Les risques financiers sont perçus et évalués de façon différente. Les marchés du gaz évoluent notablement à plusieurs niveaux. Les politiques environnementales jouent un rôle de plus en plus important et influenceront certainement les prix futurs des combustibles fossiles. La sécurité d'approvisionnement en énergie demeure un enjeu pour beaucoup de pays de l'OCDE et pourra influencer sur les politiques nationales futures d'investissement dans le secteur électrique.

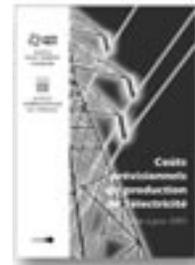
Fourchette des coûts actualisés pour le charbon, le gaz et le nucléaire



Tenant compte des considérations mentionnées ci-dessus, l'étude montre que les coûts moyens actualisés de production d'électricité les plus bas pour les principales technologies classiques varient entre 25 et 45 USD/MWh dans la plupart des pays. Ces coûts et la compétitivité relative des différentes technologies dans chaque pays sont sensibles au taux d'actualisation et aux prix prévisionnels du gaz et du charbon.

L'étude donne des informations sur les coûts relatifs de

différentes technologies pour la production d'électricité dans les pays participants. Dans le cadre méthodologique et avec les hypothèses génériques adoptés, l'étude suggère qu'aucune technologie classique pour la production d'électricité n'est susceptible d'être la moins chère en toute circonstance. Les choix technologiques dépendront donc des conditions particulières de chaque projet. L'étude confirme qu'il y a place, dans un cadre global, pour toutes les technologies performantes de production de l'électricité.



Coûts prévisionnels de production de l'électricité : Mise à jour 2005 (ISBN 92-64-00828-4) peut être acheté en ligne à www.oecd.org/bookshop. ■

Erratum

Dans le numéro 22.2 de *AEN Infos*, le tableau sur les Projets communs de l'AEN comportait deux erreurs dans les chiffres budgétaires. Le budget du Projet du réacteur de Halden aurait dû se lire US\$ 45 millions, et celui du Projet international d'échange de données de défaillance de cause commune (ICDE) US\$ 150 000/an.

Troisième phase du projet TDB

La Base de données thermodynamiques sur les espèces chimiques (TDB) de l'AEN est le fruit d'une coopération permanente dont l'objectif est de constituer une base complète, cohérente et sous assurance qualité d'éléments chimiques choisis en raison de leur intérêt pour l'évaluation de la sûreté d'un site de stockage de déchets. Le projet, lancé voilà vingt ans sous l'égide de l'AEN, est né du constat que les bases de données antérieures manquaient de cohérence interne ou n'étaient pas assez documentées pour permettre de remonter aux sources des données. Ainsi, pour des conditions identiques, des résultats incohérents avaient été obtenus, par exemple, en utilisant le même code de spéciation et différentes bases de données.

Les principaux critères de sélection des éléments à inclure dans la base de données sont la mobilité, la radiotoxicité, l'inventaire et la période radioactive. C'est pourquoi les premiers examens publiés portaient sur l'uranium, l'américium, le technétium, le neptunium et le plutonium. Au cours de la deuxième phase du projet, la base de données contenant ces éléments a été mise à jour, et de nouveaux examens d'espèces et de composés inorganiques et de produits de fission et d'activation comme le sélénium, le nickel et le zirconium ont été réalisés. De plus, les composés et complexes organiques ont été étudiés et un nouvel examen des ligands organiques simples (oxalates, citrates, EDTA et acide isosaccharinique) avec tous les éléments précédemment cités (U, Np, Pu, Am, Tc, Se, Ni et Zr) sera publié au second semestre 2005.

TDB III, la troisième phase du projet TDB, a débuté en 2003 pour une durée de quatre ans. Cette nouvelle phase vise principalement à étendre la base de données expertisée existante à des éléments répondant aux besoins actuels des programmes de gestion des déchets radioactifs. Conformément à la décision du Comité de pilotage du projet (constitué de représentants de 16 organisations responsables de la gestion des déchets radioactifs dans 12 pays membres de l'AEN), cette nouvelle phase portera sur les éléments suivants :

- le thorium (Th) choisi pour des raisons de cohérence avec la base de données sur les actinides ;
- l'étain (Sn) présent en tant que produit de fission dans les déchets nucléaires, et dont les propriétés thermochimiques présentent des lacunes et incohérences substantielles pour les espèces contrôlant la solubilité des éléments ;
- le fer (Fe), un élément déterminant les conditions redox (oxydation-réduction) dans les sites de stockage et pour lequel on manque aussi de base de données thermochimiques cohérentes.

Les espèces et composés inorganiques de ces éléments ont été jugés prioritaires. La publication des revues sur le thorium et l'étain est prévue pour 2007. La revue sur le fer devrait être prête pour expertise au début de l'année 2007.

Outre les équipes chargées de l'examen de ces trois éléments, une équipe d'experts a été constituée et chargée d'établir un guide d'évaluation des données thermodynamiques relatives aux solutions solides. Ces solides non stœchiométriques

ne figuraient pas jusqu'à présent systématiquement dans les bases de données et ils sont pourtant susceptibles de permettre une description plus précise des déchets ainsi que des barrières naturelles et ouvrages.

Le projet TDB allie une solide méthodologie d'examen, une recherche de l'excellence scientifique constante depuis le début du projet, ainsi qu'un cadre organisationnel stable en adéquation avec les objectifs à long terme du projet. Les principaux produits de ces examens sont les ouvrages publiés dans la collection *Chemical Thermodynamics Series*, permettant :

- l'accès au jugement critique d'experts sur la littérature existante, revu ensuite par des scientifiques spécialistes du domaine ;
- le transfert de connaissances entre équipes d'examen de la TDB et spécialistes de la modélisation ;
- l'identification des domaines à approfondir.

Pour de plus amples informations sur le Projet TDB, sa base de données et les publications sur le sujet, consulter le site <http://www.nea.fr/html/dbtdb>. ■

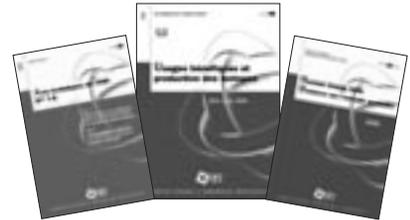
Note

1. Les organisations participant à TDB III sont les suivantes : FZK (Allemagne), NIRAS/ONDRAF (Belgique), OPG (Canada), ENRESA (Espagne), DOE (États-Unis), POSIVA (Finlande), ANDRA (France), JNC (Japon), RAWRA (République tchèque), BNFL (Royaume-Uni), NIREX (Royaume-Uni), SKB (Suède), SKI (Suède), HSK (Suisse), NAGRA (Suisse), PSI (Suisse).

Nouvelles publications



Demandez notre catalogue
gratuit sur www.nea.fr
ou à l'adresse neapub@nea.fr.



Informations générales

Plan stratégique de l'Agence pour l'énergie nucléaire - 2005-2009 (Le) – Résumé

ISBN 92-64-01058-0 *Gratuit : versions papier ou web.*

La mission de l'AEN est d'aider ses pays membres à maintenir et à approfondir, par l'intermédiaire de la coopération internationale, les bases scientifiques, technologiques et juridiques indispensables à une utilisation sûre, respectueuse de l'environnement et économique de l'énergie nucléaire à des fins paci-

ques ; et de fournir des évaluations faisant autorité et dégager des convergences de vues sur des questions importantes qui serviront aux gouvernements à définir leur politique nucléaire, et contribueront aux analyses plus générales des politiques réalisées par l'OCDE concernant des aspects tels que l'énergie et le développement durable.

Rapport annuel 2004

ISBN 92-64-01054-8 *Gratuit : versions papier ou web.*

Aspects économiques et techniques du cycle du combustible nucléaire

Coûts prévisionnels de production de l'électricité – Mise à jour 2005

ISBN 92-64-00828-4 Prix : € 70, US\$ 91, £ 47, ¥ 9 400.

Cette étude est la sixième d'une série sur les coûts prévisionnels de production de l'électricité. Elle présente et analyse des estimations de coûts pour quelque 130 centrales électriques et cogénératrices, qu'elles soient nucléaires, alimentées au charbon, au gaz, ou qu'elles utilisent des sources d'énergie renouvelables. Des experts de 19 pays membres de l'OCDE, 2 organisations internationales et 3 pays non membres ont contribué à l'étude. Les coûts moyens actualisés présentés et analysés dans le rapport ont

été calculés sur la base des données fournies par les experts participants et d'hypothèses génériques choisies par le groupe, en utilisant une méthodologie commune. Ce rapport aborde des questions importantes relatives aux coûts de production de l'électricité. Il traite notamment des méthodes permettant d'incorporer les risques financiers dans l'évaluation des coûts, de l'effet sur ces coûts du marché des permis d'émissions du carbone ainsi que de l'intégration des centrales éoliennes dans les réseaux électriques. Faisant autorité en la matière, cette publication intéressera les décideurs du secteur énergétique, les analystes des systèmes électriques et les économistes de l'énergie.

Données sur l'énergie nucléaire – 2005

ISBN 92-64-01100-5 Prix : € 24, US\$ 29, £ 16, ¥ 3 200.

Cette nouvelle édition des *Données sur l'énergie nucléaire*, une publication annuelle de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire, présente des données statistiques essentielles sur l'énergie nucléaire dans les pays de l'OCDE et, pour la première fois, des projections jusqu'en 2025. Cet ouvrage offre un aperçu complet et facile à consulter de la situation et des tendances dans le secteur électronucléaire, y compris le cycle du combustible. Il constitue une source de données de référence qui intéressera les décideurs, les experts et les chercheurs dans le domaine de l'énergie nucléaire.

Usages bénéfiques et production des isotopes – Mise à jour 2004

ISBN 92-64-00881-0 Prix : € 24, US\$ 29, £ 16, ¥ 3 200.

Les radioisotopes jouent un rôle de plus en plus important en médecine pour les diagnostics et la thérapie, dans l'industrie et dans la recherche scientifique. Ils peuvent être essentiels pour notre santé et notre bien-être et contribuent à l'économie mondiale. Il est donc important de bien connaître leur production et leurs usages. Ce rapport fournit une base solide pour comprendre la production et les utilisations des isotopes radioactifs dans le monde d'aujourd'hui. Il intéressera non seulement les décideurs des pouvoirs publics mais aussi les chercheurs, les professionnels de la médecine et les utilisateurs de l'industrie.

Sûreté et réglementation nucléaires

Avis techniques du CSIN – N° 7-8

EPS vivante et son utilisation dans le processus décisionnel en matière de sûreté nucléaire

Mise au point et utilisation de l'EPS temps réel dans les centrales nucléaires

ISBN 92-64-01048-3 Gratuit : versions papier ou web.

Dans de nombreuses centrales nucléaires dans le monde, les études probabilistes de sûreté (EPS) sont gérées comme des « EPS vivantes » les adaptant en fonction des modifications apportées à la conception et à l'exploitation de la centrale concernée, des progrès réalisés dans la compréhension des comportements de la centrale en situations de défaillance et des améliorations dans les méthodes, les modèles et les données relatifs aux EPS. Une EPS vivante peut notamment déboucher sur une EPS temps réel, utilisée par les exploitants et les autorités de sûreté pour obtenir des données sur les risques destinées à alimenter le processus décisionnel visant à assurer la sûreté d'exploitation des centrales nucléaires. Depuis que les premières EPS temps réel ont été mises en place en 1988, leur nombre a augmenté rapidement de telle sorte qu'à la fin de 2003 plus de 110 étaient opérationnelles, et que le cap des 150 devrait être franchi lorsque celles en cours de développement seront implémentées. La réunion de ces deux avis techniques dans une publication unique met à la disposition de l'audience visée – à savoir ici les

directeurs de recherche et les dirigeants dans l'industrie nucléaire, les autorités de sûreté nucléaire, les exploitants de centrales – un bilan concis de l'état d'avancement des connaissances leur permettant de mieux analyser la situation au moment d'évaluer des propositions ou les progrès accomplis dans les applications.

La prise de décision en matière de réglementation nucléaire

ISBN 92-64-01052-1 Gratuit : versions papier ou web.

L'objectif fondamental de toutes les autorités de sûreté nucléaire est de veiller à ce que les compagnies d'électricité qui exploitent des centrales nucléaires le fassent en permanence de manière acceptable sur le plan de la sûreté. Dans la réalisation de cet objectif, l'autorité de sûreté doit s'attacher à faire en sorte que ses décisions réglementaires soient techniquement bien fondées, cohérentes d'une affaire à une autre, et prises en temps voulu. En outre, l'autorité de sûreté doit être consciente du fait que ses décisions et le contexte dans lequel elles se situent, peuvent déterminer la manière dont ses interlocuteurs, par exemple les responsables de l'action gouvernementale, l'industrie qu'elle réglemente et le public, la considèrent comme un organisme de réglementation efficace et crédible. Afin de conserver la confiance de ces interlocuteurs, l'autorité de sûreté devrait s'assurer que ses décisions sont transparentes, ont un fondement bien défini sur le plan juridique et réglementaire et sont considérées par des observateurs

impartiaux comme étant équitables pour toutes les parties. Basé sur les travaux d'un Groupe d'experts de l'agence pour l'énergie nucléaire (AEN), ce rapport analyse certains principes et critères fondamentaux dont une autorité de sûreté devrait tenir compte dans la prise de décision et décrit les éléments d'un cadre de référence pour la prise de décisions réglementaires.

Plan stratégique conjoint CSIN/CANR et mandat

ISBN 92-64-01061-0 *Gratuit : versions papier ou web.*

Le Comité sur les activités nucléaires réglementaires (CANR) et le Comité sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN) ont pour mission d'aider les pays membres à maintenir et à faire progresser les connaissances, les compétences et l'infrastructure nécessaires à l'exploitation sûre des centrales nucléaires et des installations du cycle du combustible tout au long du cycle de vie, ainsi qu'à leur réglementation efficiente et efficace en se fondant sur des informations techniques fiables, une expérience partagée et les méthodes les plus modernes. Les lecteurs trouveront dans cette publication la mission, le plan stratégique et les mandats de ces comités.

Review of the Role, Activities and Working Methods of the CNRA ^{vo}

Committee on Nuclear Regulatory Activities (CNRA)

ISBN 92-64-01062-9 *Gratuit : versions papier ou web.*

This report, prepared by an independent review group, characterises the current role, priorities and working methods of the NEA Committee on Nuclear Regulatory Activities (CNRA), identifies and analyses issues of concern, and suggests ways to further increase the efficiency and effectiveness as well as the visibility of the committee. It also reviews the role and interactions between the CNRA and the other NEA standing technical committees and international organisations, and suggests ways to improve co-ordination and co-operation. In formulating its report, the review group examined various CNRA documents (e.g. summary records, reports), interviewed past and present CNRA members, standing technical committee chairs and others, and gathered additional input through a questionnaire. Conclusions and recommendations have been derived concerning the mid-term and long-term role and orientation of the committee and, in particular, the balance between technical- and policy-related activities.

Gestion des déchets radioactifs

Geological Repositories: Political and Technical Progress ^{vo}

Workshop Proceedings, Stockholm, Sweden, 8-10 December 2003

ISBN 92-64-00830-6 Prix : € 55, US\$ 72, £ 37, ¥ 7 400.

Various long-term radioactive waste management options have been considered in order to protect humans and the environment both now and in the future. Most experts worldwide agree that disposal in engineered facilities, or repositories, located in appropriate formations deep underground, provides a suitable option. Engineered geological disposal is seen as a radioactive waste management end-point providing security and safety in a sustainable manner that does not necessarily require monitoring, maintenance and institutional control. Internationally, this option is regarded to be technically feasible, acceptable from an ethical and environmental viewpoint, as well as acceptable from an international legal perspective. The Stockholm International Conference on Geological Repositories: Political and Technical Progress brought together

over 200 high-level decision makers and other interested stakeholders from the national, regional and local levels. Regulatory bodies and radioactive waste management implementing organisations also took part. In addition to providing a forum for the exchange of the most up-to-date information in the field, it also served to strengthen international co-operation on radioactive waste management and disposal issues.

Management of Uncertainty in Safety Cases and the Role of Risk ^{vo}

Workshop Proceedings, Stockholm, Sweden, 2-4 February 2004

ISBN 92-64-00878-0 Prix : € 50, US\$ 65, £ 34, ¥ 6 700.

The OECD Nuclear Energy Agency (NEA) organised a workshop on the "Management of Uncertainty in Safety Cases and the Role of Risk" in Stockholm, Sweden, on 2-4 February 2004. The workshop's main objective was to discuss different approaches to treating uncertainties in safety cases for radioactive waste management facilities, and more

specifically how concepts of risk can be used in both post-closure safety cases and regulatory evaluations. This report includes a synthesis of the plenary presentations and the discussions that took place during the workshop. These proceedings will be of interest to waste repository safety assessors and managers.

Stability and Buffering Capacity of the Geosphere for Long-term Isolation of Radioactive Waste

Application to Argillaceous Media – “Clay Club” Workshop Proceedings, Braunschweig, Germany, 9-11 December 2003

ISBN 92-64-00908-6 Prix : € 55, US\$ 72, £ 37, ¥ 7 400.

Most experts worldwide agree that radioactive waste disposal in engineered facilities, or repositories, located in appropriate formations deep underground, provide a suitable waste management option for protecting humans and the environment now and in the future. An NEA workshop was organised on 9-11 December 2003 in Braunschweig, Germany, devoted specifically to argillaceous settings for deep geological repositories. The workshop brought together scientists from academic institutions, engineers from various research institutions or companies, consultants, regulatory authorities and national waste management organisations to establish the scientific basis for stability and buffering capacity of deep geological waste management systems. The present report synthesises the main outcomes of that workshop and presents a compilation of the related abstracts.

Radioprotection

Optimisation in Operational Radiological Protection

A Report by the Working Group on Operational Radiological Protection of the Information System on Occupational Exposure

ISBN 92-64-01050-5 Gratuit : versions papier ou web.

Operational approaches to the optimisation of radiological protection continue to evolve at nuclear power plants. The continual improvement of protection has been greatly facilitated by the exchange of

good practice and experience through the Information System on Occupational Exposure (ISOE). With the forthcoming revision of the system of radiological protection, as recommended by the International Commission on Radiological Protection (ICRP), the ISOE programme considered that it would be important and useful to document good operational practice to ensure that it is reflected appropriately in the new ICRP recommendations. This report is a compilation of practical examples of good practice in optimisation. It is intended to assist nuclear power plants in providing the most appropriate protection for the public and workers, and to highlight for the ICRP concepts that should be reflected in its new recommendations.

Sciences nucléaires et Banque de données

Accelerator and Spallation Target Technologies for ADS Applications – A Status Report

ISBN 92-64-01056-4 Gratuit : versions papier ou web.

The efficient and safe management of spent fuel produced during the operation of commercial nuclear power plants is an important issue. Worldwide, more than 250 000 tons of spent fuel from reactors currently operating will require disposal. These numbers account for only high-level radioactive

waste generated by present-day power reactors. Nearly all issues related to risks to future generations arising from the long-term disposal of such spent nuclear fuel is attributable to only about 1% of its content. This 1% is made up primarily of plutonium, neptunium, americium and curium (called transuranic elements) and the long-lived isotopes of iodine and technetium. When transuranics are removed from discharged fuel destined for disposal, the toxic nature of the spent fuel drops below that of natural uranium ore (that which was originally mined for the nuclear fuel) within a period

of several hundred years. This significantly reduces the burden on geological repositories and the problem of addressing the remaining long-term residues can thus be done in controlled environments having timescales of centuries rather than millennia. To address the disposal of transuranics, accelerator-driven systems (ADS), i.e. a sub-critical system driven by an accelerator to sustain the chain reaction, seem to have great potential for transuranic transmutation, though much R&D work is still required in order to demonstrate their desired capability as a whole system. This report describes the current status of accelerator and spallation target technologies and suggests technical issues that need to be resolved for ADS applications. It will be of particular interest to nuclear scientists involved in ADS development and in advanced fuel cycles in general.

JEFF-3.0 Nuclear Data Library (The) ^{vo} JEFF Report 19 – Synopsis of the General Purpose File

ISBN 92-64-01046-7 *Gratuit : versions papier ou web.*

To master the technology and the economics of nuclear energy, deep insight is needed into the physical and chemical phenomena at work in nuclear reactors and all parts of the associated fuel cycle. Scientific knowledge should be constantly updated in order to:

- improve the safety and the economics of existing installations and anticipate possible problems;
- optimise the design of future installations;
- develop satisfactory techniques for radioactive waste storage and disposal.

One of the most important basic tools needed for accomplishing the above is accurate nuclear data.

^{vo} = existe en anglais seulement

NEA Data Bank member countries have long supported the development of the Joint Evaluated Fission and Fusion (JEFF) library, which is used as reference data for nuclear applications in many European countries. The third, improved version of the data library (JEFF-3.0) was recently issued. The present report describes the contents of this library.

Shielding Aspects of Accelerators, Targets and Irradiation Facilities – SATIF 7 ^{vo}

Workshop Proceedings, Lisbon, Portugal, 17-18 May 2004

ISBN 92-64-01042-4 Prix : € 70, US\$ 91, £ 47, ¥ 9 400.

Particle accelerators are used today for an increasing range of scientific and technological applications. They are very powerful tools to investigate the origin and structure of matter, and to improve understanding of the interaction of radiation with materials, including transmutation of nuclides and beneficial effects of risks from radiation. They are used to identify properties of molecules that can be used in pharmacy, for medical diagnosis and therapy, or for biophysics studies. Particle accelerators must be operated in safe ways that protect operators, the population and the environment. New technological and research applications give rise to new aspects in radiation shielding. These workshop proceedings review the state of the art in radiation shielding of accelerator facilities and of irradiated targets. They also evaluate progress made and discuss the additional developments required to meet radiation protection needs.



2005 World Directory of Nuclear Utility Management

Seventeenth Edition - 2005

World Directory of Nuclear Utility Management

Now on CD-ROM



The seventeenth edition includes:

- Worldwide plant listings, including operating plants and those under construction
- Addresses and more than 3,000 names of key nuclear utility personnel, both corporate and plant management
- More than a thousand changes from the 2004 edition
- Now available: utility listings on CD-ROM

To place an order, please mail check to American Nuclear Society, 97781 Eagle Way, Chicago, IL 60678-9770
 PHONE: +1 708/579-8210 • FAX: +1 708/579-8314
 E-MAIL: scook@ans.org • WEB: www.ans.org/store/vc-hndr
 American Express, MasterCard, Visa, and Diners Club accepted
 \$280 PRINT EDITION ONLY / \$850 PRINT EDITION WITH CD-ROM

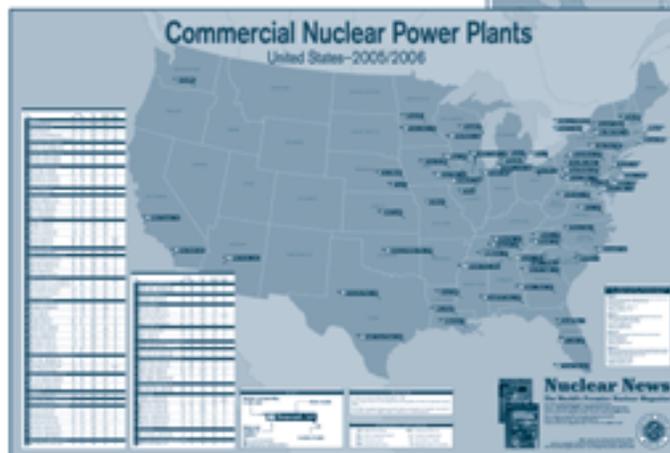


New 2005/2006 Wall Maps Now Available

Updated editions of both Nuclear News wall maps: **U.S. Commercial Nuclear Power Plants** and **Worldwide Commercial Nuclear Power Plants*** are now available.

The maps show the location of each site with tabular information about each reactor's net MWe, design type, date of commercial operation, and reactor supplier.**

BUY NOW!



Worldwide Commercial Nuclear Power Plants



Note: These maps will not be updated again until April 2007

Cost is just \$15 each (plus shipping), prepaid.

Combo Order (one of each map) is just \$28 (plus shipping), prepaid.

Purchase online at www.ans.org/pubs/maps
 or contact Sue Cook at:
 phone +1 708/579-8210
 e-mail <scook@ans.org>

* U.S. nuclear power plants are shown only on the U.S. map, not on the worldwide map.

** Map information current as of December 31, 2004

Actual map dimensions: U.S. Map - 39" x 26"; World Map - 26" x 39". All maps are sent rolled (unfolded) and mailed in shipping tubes.

Où acheter les publications de l'AEN

Amérique du Nord :

Extenza-Turpin North America

56 Industrial Park Drive, Pembroke, MA 02359, USA
Tél. : +1 (781) 829 8973 – Fax : +1 (781) 829 9052
Ligne verte : +1 (800) 456 6323 ; E-mail : ocdna@turpin-distribution.com

Reste du monde :

Extenza-Turpin Distribution Services Limited

Stratton Business Park, Pegasus Drive,
Biggleswade, Bedfordshire, SG18 8TQ, UK
Tél. : +44 (0) 1767 604800 ; Fax : +44 (0) 1767 601640
E-mail : ocedrow@turpin-distribution.com ; Internet : www.extenza-turpin.com

Commandes en ligne : www.oecd.org/bookshop

Visualisez les titres de l'OCDE à www.oecd.org/bookshop. Commandez un ouvrage et téléchargez-le au format PDF. Économisez 20 % en n'achetant que le fichier PDF.

Paiement sécurisé par carte bancaire.

Où commander nos publications gratuites

Service des publications de l'AEN

12, boulevard des Îles, F-92130 Issy-les-Moulineaux, France
Tél. : +33 (0) 1 45 24 10 15 – Fax : +33 (0) 1 45 24 11 10
E-mail : neapub@nea.fr – Internet : www.nea.fr

Rapports en ligne : www.nea.fr

Les Éditions de l'OCDE, 2 rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
IMPRIMÉ EN FRANCE
(68 2005 01 2 P) – ISSN 1605-959X